

Avaliação das propriedades gelificantes da farinha de chia (*Salvia hispanica* L.)

Desenvolvimento de novas aplicações culinárias

Susana Cristina Ferreira Ramos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Gastronómicas

Orientador: Anabela Raymundo

Coorientador: Maria Paulina Mata

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Catarina Paula Guerra Geoffroy Prista, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

À Prof. Anabela Raymundo, por me ter orientado o trabalho, por tudo o que me ensinou ao longo destes meses, pela humildade, disponibilidade, energia positiva, pela motivação, pela força nos bons e nos maus momentos, pela sua sensibilidade e pela amizade que se criou. O seu apoio e dedicação mesmo em alturas menos boas, foram cruciais para a realização deste trabalho. Por ser a pessoa humana que é, jamais cairá no esquecimento.

À Prof. Paulina Mata, co-orientadora do trabalho, pelos conhecimentos que me transmitiu ao longo destes dois anos de mestrado, pela preocupação, dedicação e incentivo na realização deste trabalho e pelo apoio incondicional e imprescindível que fizeram com que acreditasse em mim e evoluísse quer a nível pessoal quer a nível profissional. Sem a sua garra e carisma este mestrado não seria o mesmo.

À Eng. Patrícia Fradinho, colega de trabalho, amiga dedicada e um suporte fundamental na realização deste trabalho. Por todos os conhecimentos, ideias, tempo e trabalho dispensados, pelos incentivos, companheirismo e amizade, o meu muito obrigada pelos momentos que passámos estes meses, guardarei cada um deles com carinho.

A todos os funcionários e alunos do *Instituto Piaget de Almada*, pelos quais criei amizade através da convivência do dia-a-dia naquela Escola.

Às Prof. Catarina Prista e Ana Lourenço, que fazem parte do grupo de professores do mestrado de Ciências Gastronómicas, e que de certa forma estiveram presentes em momentos importantes da realização deste trabalho.

A todos os meus amigos de longa data e recentes e a todas as amizades que fui criando ao longo destes dois anos de mestrado, obrigada pela força, carinho e principalmente por acreditarem na minha evolução. Considero o vosso apoio um dos pilares mais importantes na pessoa que sou agora.

Um agradecimento com muito amor e carinho aos meus pais e irmão, pelo suporte e incentivo para a realização deste trabalho, pelo apoio, carinho e presença sempre constantes em todos os momentos.

A todos os que acreditaram em mim e que acompanharam este pequeno percurso da minha vida, o meu sincero e carinhoso... Obrigada!!

Resumo

Devido ao seu elevado valor nutricional e capacidades tecnológicas, as sementes de chia (*Salvia hispanica* L.), são consideradas um alimento promissor para o desenvolvimento de produtos funcionais, tendo por base a valorização das suas propriedades gelificantes.

A caracterização da capacidade gelificante e da concentração ótima de farinha de chia a utilizar na formulação de novos produtos foi realizada através da análise das propriedades físicas e químicas da farinha e dos géis respetivos, para diferentes gamas de concentrações e diferentes condições de processamento.

Os resultados obtidos em termos da composição centesimal da farinha de chia reforçam o conhecimento já generalizado sobre o seu valor nutricional, aumentando o seu potencial no desenvolvimento de novos produtos funcionais.

Considerando a matéria-prima utilizada, as condições ótimas para a produção dos géis foram 13% (m/m) de farinha de chia hidratada durante 30 minutos, seguindo-se um tratamento térmico a 90°C/30min e subsequente arrefecimento a 5°C. Verificou-se também que a presença de sal ou de açúcar na formulação do produto permite a obtenção de preparações culinárias com características sensorialmente aceitáveis, sendo por isso possível inovar em diversos sentidos na aplicação da farinha de chia como ingrediente alimentar.

Palavras-chave: farinha de chia, valor nutricional, benefícios na saúde, propriedades gelificantes, produtos funcionais, aplicações culinárias.

Abstract

Due to its high nutritional value and technology capacities, chia seeds (*Salvia hispanica L.*) are considered a promising food for the development of functional products, based on its gelling properties.

Characterization of the gelling ability and optimal concentration of chia flour used in formulation of new products, was performed by analysis of physical and chemical properties of the flour and respective gels for different ranges concentrations and different processing conditions.

The result of chemical composition of chia flour reinforces the already widespread knowledge about its nutritional value, increasing their potential for the development of new functional products.

Considering the raw material used, the optimal conditions for the production of gels are 13% (w/w) chia flour hydrated for 30 minutes, followed by thermal treatment at 90°C/30min and subsequent cooling to 5°C. It was also found that the presence of salt or sugar in the formulation of product allows obtaining culinary preparations with acceptable sensorial characteristics, being possible innovate in many ways in application of chia flour as a food ingredient.

Keywords: chia flour, nutritional value, health benefits, gelling properties, functional products, culinary applications

Extended abstract

Chia (*Salvia hispanica* L.) is an herbaceous plant from tropical regions. The consumption of chia seeds, with high contents of dietary fibers, antioxidants and polyunsaturated fatty acids, can enhance cardiovascular and digestive health and prevent weight gain. Due to its ability to swell when absorbing water, which occurs due to the presence of the dietary fibers (carbohydrates - cellulose, hemicellulose, lignin, pectin, among others), its addition to a food matrix can affect its texture, playing a role as texturing and stabilizing agent. Soluble fibre contributes to the stabilization of the food structure (dispersions, emulsions, etc.) through gel formation or by thickening the continuous phase. On the other hand, insoluble fibre increases the firmness of the products and provides a high fat absorption capacity.

Considering the interest in the development of functional food products, and in the utilization of industrial byproducts with technological and nutritional potential, chia flour, byproduct of the production of chia oil, is very promising.

The functional and physicochemical properties of chia have already been studied and its potential to stabilize emulsions and to produce edible films was proved.

The present work intends to access the gelling properties of chia flour (from grind chia seeds) with the purpose to study its potential for the development of functional food stuffs and culinary applications of the gel matrixes.

Commercial chia seeds “Midzu” were grinded and only the 0.5-1mm fraction was used for gel preparations.

Centesimal composition of chia flour was determined according to NP4168 (1991), NP516 (2000), ISO20483 (2006), NP518 (1986) and AOAC 962.09 (1997).

Characterization of the gelling ability and optimal concentration of chia flour was performed by analysis of gels prepared using a range of concentrations, time and temperature conditions.

For texture measurements, chia flour gels with concentrations ranging from 1 to 15% (w/w) were prepared dispersing the flour in water, under mechanical stirring (Eurostar Digital, IKA-WERKE), 350 rpm for 30 min. The suspensions were poured into glass containers (35mm height, 32mm diameter) and heated at two different gelation temperatures (50°C or 90°C), during 30 min, in a water bath.

Texture analysis of chia flour gels was performed in a TA.XT-plus texturometer (Stable Microsystems), at 20°C, in a temperature-controlled room. Texture Profile Analysis tests (TPA) was performed, using a 10mm cylindrical probe in a penetration mode, which allowed to determine the firmness, cohesiveness and adhesiveness of gels.

The texture measurements were carried out 24h after preparation to achieve the gel maturation.

Dynamic oscillatory measurements were used to characterise the mechanical proprieties of chia flour gels. The rheological characterisation of 13% and 15% chia flour gels was performed by means of small amplitude oscillatory shear measurements (SAOS), using a controlled stress rheometer (Haake, RS-300) coupled to an UTC-Peltier system, with a serrated parallel plate (PP 35S) system and 1 mm gap. After preparation (30 min hydration with mechanical stirring), the samples were

transferred to the instrument plate, covered with a layer of paraffin oil to prevent moisture loss and stabilised for 5 min at 20°C, to promote de gelation *in situ*.

The samples were heated from 20 to 90°C (heating rate 2°C/min), maintained at this temperature for 30 min, and then cooled down to 5 °C, at different heating/cooling rates (0.5, 2 and 5°C/min). These temperature sweep tests were carried out at $\tau = 1$ Pa (in the linear viscoelastic region). Subsequently, time sweep tests were conducted at 5°C during 120 min ($\tau = 5$ Pa) to allow the full maturation of the gel, followed by frequency sweep tests ($\tau = 10$ Pa; $\omega = 0.01$ -150 rad/s). Each test was performed in triplicate.

Gel matrixes with chia and rice flour were also studied to evaluate its potential to be used for the development of gluten free products.

The effect of sugar/ sweeteners and salt on the optimized 13% chia flour gels was also studied by the evaluation of gels with the incorporation of sucrose, xylitol and honey, at levels between 2 and 25% (m/m) and the incorporation of salts (KCl, NaCl, CaCl₂ and MgCl₂) at concentrations of 0.5, 1, 1.5 and 2% (w/w).

Experimental data were analysed by means of one-way ANOVA or Kruskal-Wallis test. When the former analysis indicated differences among means, a Scheffé test or pairwise comparison was performed to differentiate means with 95% confidence ($p \leq 0.05$). All statistical treatments were done using SPSS Statistics (v.20, IBM SPSS Statistics, New York, USA).

The results obtained for chia composition reveal its nutritional value and potential for use in functional products.

Chia is suitable for incorporation in different types of food matrixes, as sauces and soups, as well as desserts and drinks, due to its high fibre content (about 55%), mainly composed by insoluble dietary fibre, associated with high swelling power (20 g/g water at 25°C).

The best conditions for gels production are 13% (w/w) chia flour content, dispersed in water for 30 minutes, followed by treatment at 90°C for 30 minutes and subsequent cooling to 5°C.

The frequency sweep tests show that G' is higher than G'' for all the frequency range tested. Both moduli present slight frequency dependence within the experimental frequency window (especially G'). At low frequencies G' approaches G'' , suggesting they are entering the transition -to- flow region, behaviour typical of a weak gel. The chia flour concentration induces different degrees of gel structure that can be applied in the production of a large variety of food products (sweet, salty, etc), making chia a custom made food ingredient.

Results also show that gels obtained with mixtures of chia flour and rice flour have a texture identical to those prepared with higher concentrations of each of these flours.

Sugar and sweeteners have a positive influence in the chia gels structure. On the other hand, all the salts tested, induce a decrease of gel structuring.

From the texture and rheological measurements of chia flour gels it is promising the application of this food ingredient in the preparation of several food stuffs, as an alternative to the usual thickening and gelling agents.

ÍNDICE

LISTA FIGURAS	VIII
LISTA DE QUADROS	XII
1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.Chia - <i>Salvia hispanica</i> L.	4
2.1.1.Caracterização das sementes de chia	5
2.1.2.Composição da farinha de chia	7
2.1.3.Benefícios do consumo de chia para a saúde	12
2.1.4. Aplicações culinárias	13
2.1.5.Legislação	14
2.2.Géis alimentares	15
2.2.1.Agentes gelificantes	16
2.2.2.Processos e mecanismos de gelificação	20
2.3.Caracterização física de géis	22
2.3.1.Avaliação da textura de géis	23
2.3.2.Caracterização reológica de géis alimentares	26
2.3.3.Avaliação instrumental da cor	31
2.4.Desenvolvimento de novos produtos alimentares	32
2.4.1.Valorização de subprodutos alimentares com elevado valor nutricional	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Materiais	36
3.2. Métodos	37
3.2.1.Composição química	37
3.2.1.1.Determinação da matéria gorda total	37
3.2.1.2.Determinação da proteína total	38
3.2.1.3.Determinação da fibra total (fibra insolúvel e fibra solúvel)	39
3.2.1.4.Determinação da humidade	40
3.2.1.5.Determinação de cinza	40
3.2.2.Absorção de água	41
3.3.Géis de farinha de chia	41
3.3.1.Preparação dos géis	41
3.3.2.Caracterização física	43
3.3.2.1.Análise da Cor	43
3.3.2.2.Análise de Textura	43
3.3.3.Caracterização reológica dos géis	43
3.3.3.1.Testes oscilatórios	43
3.3.3.2. Avaliação da viscosidade	44

3.4.Desenvolvimento dos produtos finais com farinha de chia	44
3.5. Avaliação da análise sensorial	45
3.6. Análise estatística	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Caracterização físico-química da farinha de chia	47
4.1.1.Composição nutricional da farinha de chia	47
4.1.2.Índice de solubilidade e índice de absorção de água	48
4.2. Formação de géis de chia - efeito da concentração de farinha	49
4.2.1.Avaliação de textura	50
4.2.2. Avaliação de viscosidade	51
4.2.3.Determinação dos parâmetros da cor	52
4.3.Efeito da temperatura e do tempo de desnaturação nas propriedades físicas dos géis de farinha de chia	53
4.4. Efeito das condições de gelificação na estrutura dos géis – caracterização reológica	58
4.4.1.Efeito da concentração da farinha de chia	58
4.5. Géis de farinha de chia e farinha de arroz	63
4.6. Incorporação de açúcar e adoçantes em géis de farinha de chia	66
4.7. Incorporação de sais em géis de farinha de chia	70
4.8. Comparação da farinha de chia em estudo com farinhas de chia comerciais	73
4.9. Desenvolvimento de aplicações culinárias para os géis de chia	76
5.CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	90

Lista Figuras

Figura 1 – Chia (<i>Salvia Hispanica L.</i>), planta herbácea (a); Sementes de chia (<i>Salvia Hispanica L.</i>) (b) (Benexia, 2013).	6
Figura 2 - Dimensões da semente de chia (C – comprimento; L – largura; E – espessura; (a) – vista frontal; (b) – vista lateral; (c) – geometria tridimensional) (Ixtaina <i>et al.</i> , 2008).	6
Figura 3 - Estrutura do ácido gordo polinsaturado α -linolénico (Ixtaina, 2010)	8
Figura 4 - Determinação da estrutura do polissacárido constituinte da goma das sementes de chia. I β -D-xilose ; II α -D-glucose; III ácido 4-O-metil- α -D-glucorónico; IV ácido aldobiurónico; V tetrassacárido (unidade estrutural).....	10
Figura 5 - Formação da camada de gel a partir da mucilagem hidratada, existente na semente de chia (adaptado de Munoz <i>et al.</i> , 2012 (b)).	11
Figura 6 - Estrutura de um gel (Moura, 2011)	15
Figura 7 – Exemplos de homopolissacáridos. (a) amilose e (b) celulose (Chaplin, 2013).	18
Figura 8 – Estruturas químicas de heteropolissacáridos da carragenina (a), gelano (b), agar (c) e alginato (d) (Chaplin, 2013).	19
Figura 9 - Etapas de formação de gel – (i) estado “sol”, (ii) estado “gel”, (iii) organização da estrutura gelificada (Phillips e Williams, 2009).	21
Figura 10 – Ligações existentes entre polímeros para a formação de gel (Belitz e Grosch, 1992).	22
Figura 11 –Texturómetro TA.Xtplus da Stable Microsystems.	24
Figura 12 - Texturograma típico de um gel e seus parâmetros de textura (Bourne, 2002).	25
Figura 13 – Evolução da deformação ao longo do tempo em função de uma tensão aplicada (Sousa, 2001).....	27
Figura 14 - Comportamento de um material viscoelástico no processo de gelificação (Tabilo-Munizaga e Barbosa-Cánovas, 2005).....	28
Figura 15 - Variação da viscosidade aparente de uma solução de um polímero de moléculas em forma de bastonete alongado. Alinhamento sucessivo dos bastonete segundo as linhas de corrente (Sousa, 2001).	31
Figura 16 - Colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Japão)	32

Figura 17 - Sistema de coordenadas $L^*a^*b^*$ (Sahin e Sumnu, 2006).....	32
Figura 18 - Fases do processo de desenvolvimento de novos produtos (Silva <i>et al.</i> , 2009)	33
Figura 19 – Sementes de chia da marca Midzu (a); farinha de chia para estudo com granulometria entre 1mm e 0,5mm (b).....	36
Figura 20 - Farinhas de chia comerciais – “Sturla” (a) e “Sabor da Terra” (b).....	37
Figura 21 - Balão com a fase orgânica e a fase aquosa para a extração da matéria gorda	38
Figura 22 - Sistema de extração adaptado ao método da norma portuguesa NP 4168 (1991) determinação da matéria gorda total da farinha de chia.	38
Figura 23 - Sistema de filtração de fibra total a partir do método Prosky <i>et al.</i> , (1988).....	39
Figura 24 – Composição química de três farinhas de chia - a) farinha de chia obtida a partir de sementes “Midzu” trituradas sem desengorduramento (completa); b) farinhas comerciais (“Sabor da Terra” – não desengordurada e “Sturla” – desengordurada); (HC – Hidratos de carbono).....	47
Figura 25 - IAA (índice de absorção de água) – (a) e I.S. (índice de solubilidade) – (b) da farinha de chia, estudados a quatro temperaturas diferentes (25, 35, 50 e 90°C) com uma duração de 30min. .	49
Figura 26 - Variação da firmeza de géis, preparados a 50 e 90°C durante 30 min., em função da concentração de farinha de chia.	50
Figura 27 - Adesividade (a) e coesividade (b) de géis com 12, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia, preparados a 50 e 90°C, durante 30 min.	50
Figura 28 - Curvas de viscosidade dos géis com 6, 12, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia preparados a 50°C (a) e 90°C (b) com duração de 30 min.	51
Figura 29 - Variação dos parâmetros de cor – L^* (a), a^* (b) e b^* (c) de géis de farinha de chia com concentrações (entre 6 e 15%) preparados a 50 e 90°C durante 30 min.....	53
Figura 30 - Firmeza e adesividade (a) e coesividade (b) de géis de chia com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a várias temperaturas (40, 50, 60, 70 e 90°C) durante 30 min.	54
Figura 31 - Variação da firmeza, adesividade e coesividade em função da temperatura – representação do andamento exponencial respetivo.	55
Figura 32 - Firmeza, adesividade e coesividade de géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a 90°C com diferentes tempos de desnaturação (10, 30 e 60 min.).	55

Figura 33 - Curvas de viscosidade dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” obtidos a diferentes temperaturas (a) e tempos de desnaturação (b).....	56
Figura 34 - Parâmetros de cor – L*(a), a* e b* (b) de géis de farinha de chia “Midzu” (13% (m/m) preparados a várias temperaturas (40, 50, 60, 70, 80, 90 °C) com duração de 30 min.	57
Figura 35 - Variação dos parâmetros de cor – L*(a), a* e b* (b) de géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a 90°C com duração de 10, 30 e 60min.	58
Figura 36 – Curvas de aquecimento de 20°C a 90°C (2°C/min) das suspensões de farinha de chia com 10,13 e 15% (m/m).	59
Figura 37 - Curvas de desnaturação para diferentes concentrações de chia, obtidas a 90°C durante 30 minutos.	59
Figura 38 – Curvas de arrefecimento de 90°C a 5°C (2°C/min) dos sistemas de farinha de chia – 10, 13 e 15% (m/m).	61
Figura 39 - Cinéticas de maturação a 5°C, durante 120min dos sistemas com 10, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia.	61
Figura 40 - Espectros mecânicos a 5°C de sistemas de farinha de chia com diferentes concentrações – 10, 13 e 15% (m/m).	62
Figura 41 - Espectros mecânicos a 5°C de sistemas a 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” com diferentes taxas de arrefecimento - -0,5°C/min, -2°C/min e -5°C/min.....	63
Figura 42 - Firmeza dos géis com farinha de chia e farinha de arroz, preparados 90°C durante 30 min., em que se mantém constante a farinha de chia e se varia as concentrações de farinha de arroz. A tracejado está representada a firmeza dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia. ...	65
Figura 43 - Variação da firmeza de géis com farinha de chia e farinha de arroz, preparados 90°C durante 30 min., em que se mantém constante a farinha de arroz e se varia as concentrações de farinha de chia. A tracejado está representada a firmeza dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.	66
Figura 44 - Comparação dos parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade - dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de sacarose, xilitol e mel. A linha a preto representa os respetivos parâmetros de textura dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.	67
Figura 45 - Curvas de viscosidade dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia e com 2% (m/m) (a), 4% (m/m) (b), 6% (m/m) (c), 8% (m/m) (d), 10% (m/m) (e),13% (m/m) (f), 15% (m/m) (g), 17% (m/m)	

(h), 20% (m/m) (i) e 25% (m/m) (j) de adoçantes. Os símbolos a preto representam a curva de viscosidade dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.	69
Figura 46 - Parâmetros de cor – L* (a), a* (b), b* (c) – para géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de sacarose, xilitol e mel, em comparação com os géis de farinha de chia simples (linha a preto).	70
Figura 47 - Comparação dos parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade - dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de KCl, NaCl, CaCl ₂ e MgCl ₂ . As linhas pretas representam os respetivos parâmetros de textura dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.	71
Figura 48 - Variação das propriedades viscoelásticas dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com diferentes concentrações de sais: 0,5% (m/m) (a), 1% (m/m) (b), 1,5% (m/m) (c) e 2% (m/m) (d). Os símbolos a preto representam a curva de viscosidade dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.	72
Figura 49 - Parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade – das farinhas de chia (Em estudo “Midzu”, “Sabor da Terra” e “Sturla”).	74
Figura 50 - Curvas de viscosidade de géis de farinhas de chia com velocidades iguais de agitação.	74
Figura 51 - Espectros mecânicos relativos à caracterização reológica dos géis com farinhas de chia – Em estudo “Midzu”, “Sabor da Terra” e “Sturla”.	75
Figura 52 - Parâmetros de cor – L*(a), a* (b) e b* (c) dos géis de diferentes farinhas de chia (13% (m/m)) preparados a 90°C com duração de 30min.	76
Figura 53 – Produtos desenvolvidos tendo por base a propriedade gelificante da farinha de chia: a) produtos doces; b) produtos salgados.	76
Figura 54 - Cotação obtida na análise sensorial das preparações culinárias doces com base gelificante de farinha de chia – a) Recheio de bombons, b) pudim de banana e c) sobremesa de chocolate.	77
Figura 55 - Cotação obtida na análise sensorial das preparações culinárias salgadas com base na propriedade gelificante da farinha de chia – a) molho para massa e b) esparregado de favas.	77

Lista de Quadros

Quadro 1 – Locais onde existe produção de chia mais significativa e respectivas condições de produção.....	5
Quadro 2 - Composição de proteína e ácidos gordos presentes nas sementes de chia brancas e pretas.....	7
Quadro 3 – Composição (%) de ácidos gordos presentes na semente de chia.....	8
Quadro 4 - Características funcionais de alguns polissacáridos.	19
Quadro 5 - Ensaio de textura e suas características.	24
Quadro 6 - Atributos mecânicos obtidos a partir do texturograma do TPA e sua relação com as características físicas e os atributos sensoriais – Textura e Análise Sensorial.....	26
Quadro 7 - Matriz de planeamento experimental para o estudo do efeito das farinhas de chia e de arroz nas propriedades gelificantes.	42
Quadro 8 - Matriz de planeamento experimental para o estudo do efeito das farinhas de chia e de arroz nas propriedades gelificantes.	45
Quadro 9 - Variáveis dependentes resultantes do planeamento experimental utilizado no estudo dos géis com farinha de chia e farinha de arroz.	64

1.Introdução

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente tendência para o consumo de alimentos funcionais. Muitos destes produtos são de origem vegetal e apresentam na sua composição química, elevados teores de fibras, vitaminas, minerais, ácidos gordos polinsaturados (PUFA) nomeadamente ácido α -linolénico (omega3), antioxidantes, entre outros.

Esta nova tendência leva a que haja uma maior procura destes alimentos. Tal teve como consequência um incremento da investigação nesta área que resultou em novos conhecimentos e aplicações. Atualmente a gama de alimentos disponibilizada é maior e mais variada: Muito por influência da chamada globalização de culturas e valores tem-se recorrido neste processo a ingredientes menos comuns ou que tinham deixado de ser usados.

Devido ao seu elevado valor nutricional: 25% proteínas, 35% lípidos (destacando-se os ácidos gordos polinsaturados), 30% fibras (5,7% solúveis e 24,3% insolúveis) e antioxidantes, as sementes de chia começaram a ter um lugar importante nas escolhas dos consumidores.

A produção de sementes de chia (*Salvia hispanica L.*) é originária de países subtropicais e tropicais, uma vez que são necessárias condições climáticas específicas para uma produção favorável. Devido a certos requisitos, como o tipo de solo, temperatura e humidade, a produção desta semente não é feita na Europa, apesar de ser possível fazê-lo em estufas com condições ambientais controladas. Assim, só há relativamente pouco tempo é que as sementes de chia foram introduzidas no mercado português. O consumo desta semente tem despertado um interesse crescente devido aos inúmeros benefícios para a saúde que lhe são atribuídos, nomeadamente na prevenção de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de cancro e prevenção do aumento de peso. O consumo mais estabelecido era essencialmente o do óleo (de chia) encapsulado, mas atualmente as sementes de chia já se encontram amplamente comercializadas em várias lojas de alimentos biológicos e dietéticos e supermercados, existindo também vários pontos de venda online (The Chia Co, 2013; Benexia, 2013), e estando ao dispor do consumidor uma grande variedade de marcas de sementes de chia e derivados.

O trabalho apresentado nesta tese teve como ideia inicial a possibilidade de valorização de farinha de chia parcialmente desengordurada, obtida após processo de extração deste óleo. Sendo um subproduto muito rico nutricionalmente, este pode ser valorizado no desenvolvimento de alimentos funcionais, minimizando assim o desperdício e rentabilizando recursos.

Uma vez que não foi possível avaliar físico-quimicamente a farinha de chia desengordurada, recorreu-se ao estudo da farinha de chia triturada a partir das sementes “Midzu” disponíveis no mercado português.

O presente trabalho pretende:

- i. Valorizar a composição em polissacáridos (celulose, hemicelulose, lignina, pectinas e mucilagem) da farinha de chia;

- ii. Otimizar a preparação de géis alimentares da farinha de chia, considerando o comportamento reológico e de textura;
- iii. Avaliar a interação da farinha de chia com a farinha de arroz e o seu efeito nas propriedades de textura dos géis;
- iv. Avaliar o efeito da adição de açúcar, adoçantes e sais nas propriedades físicas dos géis;
- v. Desenvolver alimentos funcionais, utilizando farinha de chia tendo por base o seu poder gelificante, substituindo outros aditivos com propriedades espessantes e/ou gelificantes.

Ao trabalho apresentado nesta tese, esteve associada uma forte componente de divulgação, tendo sido aceites para apresentação em congressos e seminários, três pósteres e quatro comunicações orais. Foi ainda apresentada uma candidatura ao prémio de Investigação e Desenvolvimento na área alimentar para o concurso Nutrition Awards, organizado pela Associação Portuguesa dos Nutricionistas e pela GCI (consultora de comunicação portuguesa independente).

Pósteres em Congressos nacionais e internacionais (vide Anexo)

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “A chia- valorização de subprodutos em aplicações gastronómicas”. *Jornadas Técnicas – “Os compostos Naturais na Industria Alimentar”*, Biocant Park – Cantanhede, Maio 2013.

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “A Chia - Propriedades e Potencial para Desenvolvimento de Produtos Funcionais”. *XII Congresso de Nutrição e Alimentação*, Lisboa, Maio 2013.

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “ Rheological Characterization of Chia Flour Gels for Culinary Purpose”. *Iberian Meeting on Rheology*, Málaga, Setembro 2013.

Comunicações orais em Congressos nacionais e internacionais

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “Propriedades gelificantes da farinha de chia: novos alimentos funcionais”. *Workshop “Repensar e Inovar a Alimentação”*, Instituto Piaget de Almada, Janeiro 2013.

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “Propriedades gelificantes da farinha de chia: novos alimentos funcionais”. *Jornadas intercalares das dissertações anuais dos Mestrados do DQ e do DCV – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*, Janeiro 2013.

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “Gelling Properties and the Development of New Functional Products”. *8th International Conference on Culinary Arts and Sciences*, Porto, Junho 2013.

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., “Chia: propriedades gelificantes e uso em produtos alimentares funcionais”. Ciclo de Seminários IV no âmbito do mestrado de Ciências Gastronómicas. Laboratório Ciência Viva. Pavilhão do Conhecimento, Lisboa, Julho 2013.

Candidatura à categoria de Investigação e Desenvolvimento

Ramos, S., Fradinho, P., Mata P., Raymundo, A., (2013). Utilização de farinha de chia como ingrediente funcional. *Nutrition Awards*.

2.Revisão bibliográfica

2.1.Chia - *Salvia hispanica* L.

A chia (*Salvia hispanica* L.) é uma planta herbácea que pertence à família das *Lamiaceae*, uma família em que as plantas são frequentemente aromáticas e de que fazem parte muitas das ervas aromáticas usadas na culinária como a menta, o manjeriço, a sálvia, os orégãos, o tomilho. É uma planta pouco tolerante a climas frios, proveniente do sul do México e do norte da Guatemala, tendo vindo a ser cultivada em regiões tropicais e subtropicais, podendo no entanto o seu cultivo ser adaptado a sistemas de estufas noutros climas como o da Europa (Ixtaina *et al.*, 2011; Capitani *et al.*, 2012).

Na era pré-colombiana as sementes de chia eram consideradas um alimento básico para a população da América Central, assumindo uma importância maior que o milho, feijão e outros cereais. Tecochtitlan, a capital do Império Asteca, recebia anualmente grandes quantidades de sementes de chia, como tributo de nações conquistadas. Estas sementes eram também uma das ofertas aos deuses Astecas. Com o declínio das práticas religiosas, a utilização de sementes de chia por esses povos foi quase extinta há cerca de 500 anos (Ayerza e Coates, 2004).

Recentemente o interesse pela chia tem vindo a crescer, assumindo já valores significativos de consumo na sociedade atual, em particular no México e sudoeste dos Estados Unidos, e ainda no Sul da América. Embora a chia não seja amplamente conhecida na Europa, nos últimos anos tem sido introduzida, em particular no mercado dos produtos dietéticos. As sementes de chia têm também sido objeto de investigação, sendo-lhes reconhecido efeitos benéficos na saúde, devido aos seus elevados teores de proteína, antioxidantes e fibra dietética (Ixtaina *et al.*, 2011).

Ayerza e Coates (2004), estudaram sementes de chia produzidas em nove locais e seis ecossistemas diferentes – um no Peru, ao longo da costa do deserto de Atacama, quatro na Colômbia, três na Argentina, e um na Bolívia (Quadro 1). Em todas as produções a sementeira e a colheita foram feitas mecanicamente, e apenas nos locais mais secos foi realizada irrigação. Ayerza e Coates (2004) verificaram que os locais de produção de chia afetam a composição química da semente. Tal advém dos fatores ambientais envolventes, tais como, a temperatura, a luz, o tipo de solo e nutrientes disponíveis. De acordo com o estudo realizado, Cerro Prieto (Perú), tendo como características: latitude-14°05'(S), longitude-75°30'(W), altitude-398(m), temperatura-12°C e precipitação-3(mm/ano), foi considerado o melhor local de produção, com base na riqueza nutricional das sementes. Por outro lado, o local que apresentou valores menos interessantes na composição química da semente de chia foi o de El Torrente (Colômbia).

Quadro 1 – Locais onde existe produção de chia mais significativa e respectivas condições de produção.

Local	Ecossistema	País	Latitude (S)	Longitude (W)	Altura (m)	Temperatura (°C)	Precipitação (mm/ano)
Yoshioka	Vale Interandino	Colômbia	4º 31'	76º 02'	915	24	1345
El Torrente	Vale Interandino	Colômbia	4º 34'	75º 58'	932	24	1286
La Peña	Vale Interandino	Colômbia	4º 45'	75º 54'	917	24	1449
Jaho	Vale Interandino	Colômbia	4º 36'	76º 04'	950	24	1200
La Poblacion	Chaco semiárido	Argentina	25º 07'	65º 38'	1270	16	692
La Invernada	Yungas	Argentina	27º 36'	65º 37'	369	19	1092
C. del Valle	Chaco árido	Argentina	28º 28'	65º 44'	500	20	324
Cerro Prieto	Deserto Atacama	Peru	14º 05'	75º 30'	398	12	3
Santa Cruz	Chaco húmido	Bolivia	17º 45'	63º 14'	414	24	1157

Fonte: Ayerza e Coates, 2004.

As sementes de chia, atendendo à sua riqueza nutricional, são já utilizadas como suplementos na produção de pão, barras energéticas, bolachas e outros alimentos funcionais. Em 1996 estas sementes foram reconhecidas pela FAO como sendo uma fonte potencial de polissacáridos, essencialmente resultantes da sua mucilagem. Uma das características dessa mucilagem é a particularidade de as sementes de chia, em solução aquosa, criarem à sua volta um filme de gel mesmo a baixas concentrações (Munoz *et al.*, 2012(a)).

O consumo de fibra na dieta humana tem um impacto considerável, traduzindo-se este em efeitos benéficos para a saúde. De acordo com Ixtaina, V.Y. (2010) os teores de fibra das sementes de chia – entre 18% e 30% - são cerca de 9% superiores aos de outros cereais como a cevada, trigo, aveia, milho e arroz.

O teor de fibra na farinha de chia desengordurada (após extração do óleo) representa cerca de 40% da sua composição em massa dos quais 5% correspondem a fibra solúvel (maioritariamente mucilagem) (Lin *et al.*, 1994). O facto da chia ser uma excelente fonte de fibra dietética, torna-a um alimento com características benéficas para o metabolismo humano, nomeadamente no que se refere à sua capacidade de redução do risco de doenças do trato gastrointestinal, de doenças cardiovasculares e dos níveis de colesterol no sangue (Coates, 2012).

2.1.1.Caracterização das sementes de chia

A planta *Salvia hispanica* L. (Figura 1(a)) é sensível à luz solar, sendo produtora de pequenas sementes brancas e pretas (Figura 1(b)) que atingem a maturação essencialmente no Outono (Ixtaina *et al.*, 2008; Capitani *et al.*, 2012). As sementes de chia apresentam uma forma oval tendo em média um comprimento entre 2 e 2,25 mm, uma largura de 1,4 a 0,83 mm e uma espessura de 1,32 a 0,81 mm (Figura 2).

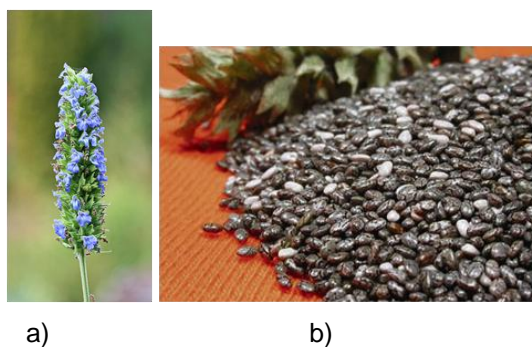


Figura 1 – Chia (*Salvia Hispanica L.*), planta herbácea (a); Sementes de chia (*Salvia Hispanica L.*) (b) (Benexia, 2013).

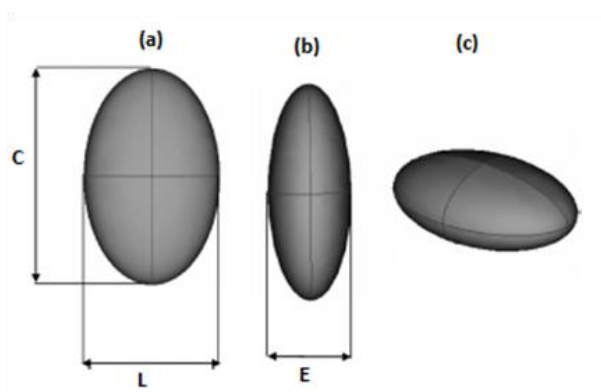


Figura 2 - Dimensões da semente de chia (C – comprimento; L – largura; E – espessura; (a) – vista frontal; (b) – vista lateral; (c) – geometria tridimensional) (Ixtaina *et al.*, 2008).

Apesar da planta produzir os dois tipos de semente, brancas e pretas, a maioria da produção de chia contém uma baixa percentagem de sementes brancas. De um modo geral, a chia disponível comercialmente apresenta uma mistura das duas sementes. No entanto, existe também possibilidade de aquisição das sementes de cores separadas.

De acordo com estudos realizados por Ayerza e Coates (1997) e Ixtaina *et al.*, (2006) a composição química das sementes de chia brancas e pretas, produzidas num dado local não apresenta uma diferença significativa. As diferenças entre sementes produzidas em locais diferentes são significativas, mas não entre as sementes brancas e pretas de cada local. (Quadro 2).

Quadro 2 - Composição de proteína e ácidos gordos presentes nas sementes de chia brancas e pretas.

Tabela 1: Composição nutricional das amostras de leite de vaca.								
Local	Cor	Proteína	Lípidos	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico
		%	%	% de lípidos	% de lípidos	% de lípidos	% de lípidos	% de lípidos
1	Branco	14.2	32.8	6.7	3.3	6.8	17.4	64.5
	Preto	15.6	31.2	6.7	3.7	7.0	17.3	63.3
2	Branco	12.4	29.3	6.7	3.3	6.8	17.9	63.7
	Preto	12.3	30.2	6.3	3.3	6.7	18.0	63.5
3	Branco	21.0	32.1	6.0	5.0	6.4	15.7	66.2
	Preto	20.2	33.2	6.3	3.3	5.8	15.6	67.3
4	Branco	18.4	35.7					64.4
	Preto	19.6	35.2					64.9
Média	Branco	16.5	32.6					64.7
	Preto	16.9	32.4					64.8

Fonte: Azchia, 2013.

Nota: Locais 1-4 não estão identificados na fonte.

2.1.2. Composição da farinha de chia

A chia encontra-se maioritariamente disponível no mercado na forma de sementes inteiras ou de óleo encapsulado. Apesar de, no nosso país e em geral na Europa, não ser muito comum a comercialização da farinha de chia, no mercado Sul Americano pode adquirir-se farinha de chia completa e farinha de chia desengordurada.

A farinha de chia desengordurada é maioritariamente obtida na sequência do processo de extração do óleo de chia, sendo por isso considerada um subproduto, que ainda assim apresenta um elevado valor nutricional.

Como referido, as características nutricionais das sementes de chia dependem muito do local de produção e condições climáticas da produção da planta. Ayerza e Coates (2004) verificaram variações no **teor de proteína** nas sementes de chia analisadas entre os 18,7% (m/m) e os 23,1% (m/m), sendo que a cultura proveniente de Cerro Prieto foi a que apresentou maior teor proteico. Vazquez-Ovando *et al.*, (2010) também estudaram farinha de chia (desengordurada) de diferentes origens com teores proteicos entre 28,14% (m/m) e 44,62% (m/m). Segura-Campos *et al.*, (2012) verificaram que a extração prévia de gordura tem implicações na avaliação do teor proteico, tendo obtido o valor de 34,1% (m/m) de proteína para o caso da farinha de chia desengordurada e 23,9% (m/m) para a farinha de chia inteira, obtidas a partir da mesma proveniência.

O método de extração da gordura também influencia a quantificação proteica, tal como verificaram Capitani *et al.*, (2012) que obtiveram um teor proteico de 41,36% (m/m) de proteína

quando a extração de gordura foi feita por solventes e 35% (m/m) quando tal processo foi feito por extração sob pressão.

O **teor de gordura** também é variável consoante as condições de produção. De acordo com os trabalhos de Ayerza e Coates (2004), as sementes provenientes de Santa Cruz têm percentagem mais elevada - 32,7% (m/m) -, sendo o valor mais baixo de 28,5% (m/m) para as sementes da plantação de La Invernada.

Para além das diferenças na composição química das sementes de chia cultivadas em ecossistemas diferentes, sabe-se também que a composição em ácidos gordos varia com a zona e condições de produção. Ayerza e Coates (2004), resumem no Quadro 3 as variações nos perfis de ácidos gordos de gordura de sementes de chia provenientes de plantações distintas. Destaca-se que para todas as amostras estudadas, o ácido gordo maioritário é o ácido α -linolénico (Figura 3), com teores de cerca de 60% (m/m) do total de ácidos gordos. Resultados idênticos foram obtidos por Segura-Campos *et al.*, (2012). Tal reveste-se de particular importância, já que o ácido α -linolénico é um ácido gordo polinsaturado ómega3 essencial ao bom funcionamento do organismo humano. Como não é sintetizado pelo metabolismo humano, há a necessidade que este seja ingerido através de alimentos. Sinais como perda de cabelo, problemas de pele podem representar indícios de um défice dos níveis de consumo de ómega3. As doses diárias recomendadas deste ácido polinsaturado são de 17g/dia para os homens e 12g/dia para as mulheres com idades entre os 19 aos 50 anos (Schiff, 2009).

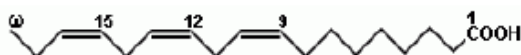


Figura 3 - Estrutura do ácido gordo polinsaturado α -linolénico (Ixtaina, 2010)

Quadro 3 – Composição (%) de ácidos gordos presentes na semente de chia.

Local	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico	omega-6:omega-3
La Peña	7,25	3,4	3,4	18	63,2	0,29
Jaho	7,65	3,5	3,5	19,25	57,5	0,34
Yoshioka	7,6	3,55	10,3	19,1	58,55	0,33
El Torrente	7,65	3,55	13,25	20,5	54,2	0,38
La Poblacion	6,55	2,95	7,15	20,3	62	0,33
La Invernada	7,4	2,75	6,75	20,1	62,2	0,32
C. del Valle	6,95	2,75	6,85	21,05	61,65	0,34
Cerro Prieto	7,15	3	6,9	18,35	64,2	0,29
Santa Cruz	7,4	6,69	7,1	18,7	63,6	0,29

Fonte: Ayerza e Coates, 2004.

Como já se referiu, as **fibras** são uma das mais-valias nutricionais da farinha de chia, que potenciam a sua utilização na produção de alimentos funcionais. Diversos autores

caracterizaram a farinha de chia relativamente ao seu teor em fibra dietética, nomeadamente no que se refere às componentes solúveis e insolúveis.

Vazquez-Ovando *et al.*, (2010) e Segura-Campos *et al.*, (2012) verificaram que a extração prévia de gordura apresenta implicações na avaliação do teor de fibra total. Vazquez-Ovando *et al.*, (2010) obtiveram valores de fibra total entre 28,3% (m/m) e 30,59% (m/m) e Segura-Campos *et al.*, (2012) determinaram um teor de 35,85% (m/m), em ambos os casos considerando a da farinha de chia sem remoção de gordura. Para a farinha de chia desengordurada da mesma proveniência, Vazquez-Ovando *et al.*, (2010) determinaram um teor de fibra total entre os 11,48% (m/m) e 29,56% (m/m) e Segura-Campos *et al.*, (2012) o teor de 21,43% (m/m).

Valores de 26,5% (m/m) de fibra total também foram referidos por Vazquez-Ovando *et al.*, (2009), no estudo que fizeram com a farinha de chia desengordurada.

O método de extração da gordura também influencia o teor de fibra total, tal como verificou Capitani *et al.*, (2012), que obtiveram um teor de fibra total de 27,57% (m/m) quando a extração de gordura foi feita por solventes e 23,81% (m/m) quando o processo foi realizado por extração sob pressão. Os mesmos autores referem que independentemente do processo de extração de gordura, o teor de fibra insolúvel é cerca de dez vezes superior ao teor de fibra solúvel.

O estudo Capitani *et al.*, (2012), que compara a composição da farinha de chia desengordurada com extração por solventes e por pressão também refere a influência destes processos na avaliação da composição em polissacáridos. No método de extração por solventes obteve-se um teor de celulose de 23% (m/m), hemicelulose 33,6% (m/m) e a lenhina 6,95% (m/m). Já com o método de extração sob pressão, o valor de celulose é representado por 22% (m/m), hemicelulose por 30,3% (m/m) e a lenhina 7,5% (m/m). Estas diferenças são justificadas devido aos diferentes processos de extração de óleo das sementes de chia poderem afetar química e fisicamente a estrutura da parede celular, condicionando o modo como os hidratos de carbono que estão localizados na parede celular das sementes são transferidos para o exterior, o que condiciona a quantificação das diversas frações de polissacáridos (Capitani *et al.*, 2012).

De acordo com Muñoz *et al.*, (2012 (b)), a semente de chia apresenta na sua composição uma percentagem considerável de mucilagem: 5-6% (m/m), que é uma secreção rica em polissacáridos, responsáveis pela retenção da água pelas sementes, contribuindo para o seu aumento de volume quando inseridas em meio aquoso. Esta mucilagem é constituída por um polissacárido cujo peso molecular foi determinado por filtração em gel e varia de $0,8-2,0 \times 10^6$ daltons (Lin *et al.*, 1994). Da hidrólise completa deste polissacárido obtiveram-se β -D-xilose, α -D-glucose e ácido 4-O-metil- α -D-glucorónico respetivamente, nas proporções de 2:1:1. Por hidrólise parcial obteve-se um ácido aldobiurónico, em que o ácido 4-O-metil- α -D-glucopiranosídeo urónico está ligado ao carbono 2 de D-xilose. Assim, foi proposta uma unidade estrutural para o polissacárido que consiste num tetrassacárido com resíduos de 4-O-metil- α -D-

glucoronopiranosilo, ocorrendo como ramificações em O-2 de alguns resíduos β -D-xilopiranosilo na cadeia principal, sendo esta formada por unidades de (1 \rightarrow 4)- β -D-xilopiranosil-(1 \rightarrow 4)- α -D-glucopiranosil-(1 \rightarrow 4)- β -D-xilopiranosilo. Foi também caracterizado um tetrassacárido linear que incorpora estas características estruturais (Lin *et al.*, 1994).

Na Figura 4 está representada a estrutura do polissacárido constituinte da goma das sementes de chia.

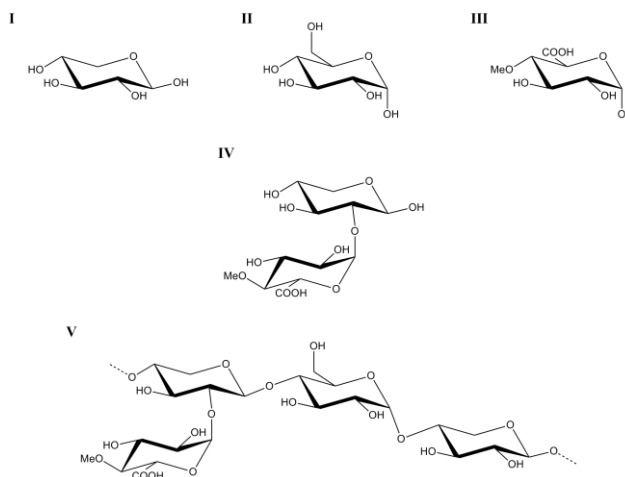


Figura 4 - Determinação da estrutura do polissacárido constituinte da goma das sementes de chia. I β -D-xilose; II α -D-glucose; III ácido 4-O-metil- α -D-glucurônico; IV ácido aldobiurônico; V tetrassacárido (unidade estrutural).

A mucilagem é uma fonte apreciável de fibra dietética. Devido à sua capacidade de absorção de água, quando a humidade relativa aumenta, a semente de chia (Figura 5 (a)) tem tendência a aumentar de volume.

Na Figura 5 (b, c) evidencia-se uma película transparente existente na semente quando hidratada. Esta película - gel transparente mucilaginoso - atinge a sua espessura máxima após 2 h de hidratação. Na Figura 5 (d), observam-se duas camadas, uma interior, constituída por estruturas ramificadas, e uma externa. Observa-se também uma forte ligação entre a semente e a mucilagem presumindo-se que a mucilagem se situa na camada exterior que forma o revestimento da semente, nas chamadas células mucilaginosas (Munoz *et al.*, 2012 (b)).

Na Figura 5 (e) observa-se em detalhe a estrutura do revestimento da semente. Esta é composta por três camadas: uma camada exterior (z), onde se encontra a mucilagem; uma camada intermedia (y), composta por células pouco estruturadas com uma fibra semelhante, e o endocarpo (x) (Munoz *et al.*, 2012 (b)).

Quando a semente entra em contacto com a água, começam a desenrolar-se pequenos filamentos na superfície (Figura 5 (c, d)). Quando as sementes ficam totalmente hidratadas, estes filamentos agregam-se (Figura 5 (f, g)), distribuindo-se uniformemente sobre a superfície à volta da semente. Quando estas sementes são ingeridas também se forma a camada mucilaginoso (um gel) dentro do estômago. Esse gel cria uma barreira física entre os hidratos de carbono e as enzimas digestivas, diminuindo deste modo a transformação de hidratos de carbono em açúcares, contribuindo para a sensação de saciedade (Munoz *et al.*, 2012 (b)). O

próprio aumento de volume das sementes, resultante da hidratação também contribui para a mesma sensação. É este um dos principais atributos das sementes de chia que as tornam tão populares em dietas de emagrecimento (Vazquez-Ovando *et al.*, 2009).

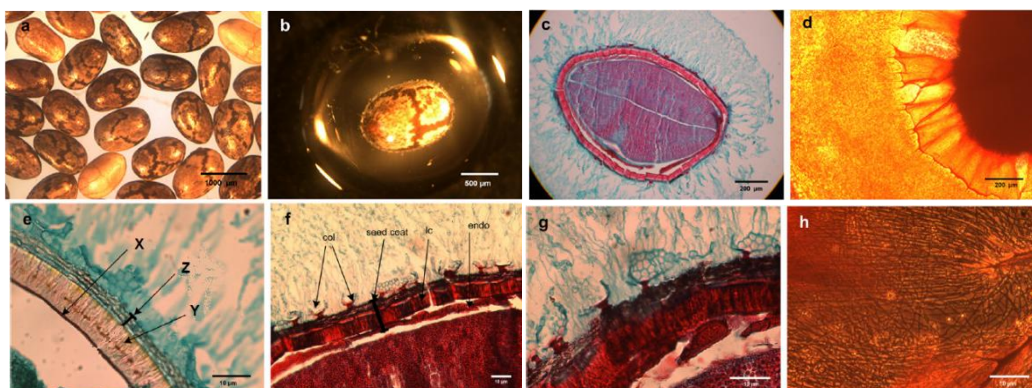


Figura 5 - Formação da camada de gel a partir da mucilagem hidratada, existente na semente de chia (adaptado de Munoz *et al.*, 2012 (b)).

A riqueza da farinha de chia em **minerais** é outro dos aspetos nutricionais a salientar. Expressando este em termos de teor de cinzas, esta composição é representada essencialmente pela presença de fósforo (770,30 mg/100g), potássio (653 mg/100g), cálcio (569,80 mg/100g), magnésio (334,50 mg/100g), ferro (7,72 mg/100g), zinco (5,68 mg/100g), manganês (3,28 mg/100g) e cobre (1,66 mg/100g) (Coates, 2012).

Verifica-se que o processo de extração da gordura também influencia a quantificação do teor em cinzas presente na farinha de chia. De acordo com Vazquez-Ovando *et al.*, (2010) a farinha de chia sem desengorduramento apresenta um teor de 4,86% (m/m) de cinzas e a farinha desengordurada apresenta valores entre os 6,51% (m/m) e 8,84% (m/m). Um estudo semelhante realizado por Segura-Campos *et al.*, (2012) indica que para a farinha de chia inteira o teor de cinzas corresponde a 4,32% (m/m) e para a farinha de chia desengordurada 5,85% (m/m). Também um estudo desenvolvido por Vazquez-Ovando *et al.*, (2009) refere para a farinha de chia desengordurada o teor de cinzas de 7,09% (m/m).

Tal como para os outros parâmetros da análise centesimal referidos, o método de extração de gordura também condiciona o teor de minerais. De acordo com o estudo feito por Capitani *et al.*, (2012), o teor de cinzas apresentou um valor de 7,24% (m/m) para uma extração de gordura através de solventes e 6,27% (m/m) no caso da extração por pressão.

Contribuindo de modo determinante para a riqueza nutricional da chia devem referir-se também as **vitaminas**. Destacam-se a vitamina A (53,86 IU/100g), vitamina C-ácido ascórbico (1,61 mg/100g), vitamina B1 (0,62 mg/100g), vitamina B2 (0,17 mg/100g) e vitamina B3 (8,83 mg/100g) (Coates, 2012).

A farinha de chia apresenta também quantidades apreciáveis de compostos polifenólicos que têm um papel determinante na **atividade antioxidante** (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008; Borneo *et al.*, 2010). Taga *et al.*, (1984) e Coates (2012) referem nos estudos que realizaram a presença

de compostos polifenólicos tais como quercitina (35µg/g), canferol (35µg/g) e miricitina (51µg/g).

2.1.3. Benefícios do consumo de chia para a saúde

Nos últimos anos, tem-se verificado uma crescente tendência no mercado para o consumo de alimentos funcionais. Destacam-se neste contexto os alimentos enriquecidos com fibras, ácidos gordos polinsaturados, óleos essenciais, vitaminas, minerais, antioxidantes como os carotenóides, flavonóides e antocianinas, e que podem contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares, respiratórias e cancerígenas, entre outras (Coates, 2012).

A composição nutricional das sementes e da farinha de chia referidas na secção 2.1.2. ilustram de modo claro o seu potencial como alimento bioativo.

De acordo com vários estudos, sabe-se que a chia apresenta na sua composição elevados valores de **ácidos gordos polinsaturados do tipo ómega3**, essenciais na dieta humana devido a não serem sintetizados pelo organismo (Carrillo-Navas *et al.*, 2012). Salientam-se os benefícios dos ácidos gordos ómega3 na redução de doenças cardiovasculares, na prevenção de doenças do sistema nervoso e doenças inflamatórias tais como artrite (Carrillo-Navas *et al.*, 2012).

Os teores médios recomendados para a ingestão de fibra dietética, indicando como principais componentes os polissacáridos (excluindo o amido), variam entre os 10-13 g/dia no Japão e Reino Unido e 15-20 g/dia ou mais em África e Índia. A ingestão média na população geral varia entre 7 e 25 g/dia (American Institute for Cancer Research, 2007). Assim, a população em geral apresenta níveis de ingestão de fibra muito reduzidos. O principal efeito fisiológico da fibra advém da sua capacidade de absorção e retenção de água. Esta capacidade resulta da presença de polissacáridos. Uma dieta com teores de fibra adequados tem efeitos benéficos para a saúde, nomeadamente a redução de colesterol, alterações da função intestinal e atividade antioxidante (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008). O consumo de chia, por conter elevados teores de fibra total, pode ser uma alternativa importante para aumentar a ingestão de fibra.

Como se referiu anteriormente, a chia constitui uma importante fonte de antioxidantes. Estes compostos bioativos, para além de poderem ser ingeridos diretamente a partir do consumo das sementes, podem também ser obtidos por isolamento a partir das sementes de chia (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008). Estes antioxidantes naturais, essencialmente formados por compostos fenólicos, podem ser utilizados pela indústria alimentar como substitutos de antioxidantes sintéticos, na conservação de alimentos lipídicos, aumentando a vida útil de muitos alimentos (Almeida, *et al.*, 2011).

Os antioxidantes da chia são considerados fitonutrientes, pois são compostos fitoquímicos presentes nas plantas, que embora não sejam uma fonte de energia, minerais ou vitaminas, quando consumidos regularmente, apresentam benefícios para a saúde humana. São assim

eficazes na prevenção de certas doenças, como a diabetes, doenças cardiovasculares e hipertensão arterial (Coates, 2012).

Muitos são os benefícios que estão ligados ao consumo das sementes de chia. No entanto ainda não foi estabelecido um valor de dose diária recomendada. Contudo Coates (2012) faz referência a estudos que relacionam diretamente o consumo de sementes de chia com a prevenção de algumas doenças. Nomeadamente investigações realizadas em diversas universidades, tais como a Universidade Nacional de Córdoba (Argentina), Universidade de Oxford e Universidade de Sydney, indicam que o consumo de uma a duas colheres de sopa ($\approx 15\text{gr}$) de sementes de chia por dia previne o desencadeamento de mutações celulares – causa de doenças cancerosas - e o aparecimento de doenças cardiovasculares.

2.1.4. Aplicações culinárias

Considerando a composição química e física da chia, estas sementes apresentam capacidades tecnológicas diversas, podendo atuar como **agentes espessantes, gelificantes e estabilizantes**. Deste modo, revelam-se úteis para a indústria alimentar e para aplicações domésticas, no desenvolvimento de novos produtos alimentares (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008; Capitani *et al.*, 2012), que para além de poderem apresentar texturas e sabores inovadores, podem contribuir positivamente para a saúde, considerando os efeitos bioativos já referidos da chia.

Para qualquer preparação culinária, seja ela doce ou salgada, existem sempre matrizes e estruturas alimentares características do produto que se pretende obter. Estas estruturas podem ser alteradas quando se efetua o desenvolvimento de novos produtos, nomeadamente o enriquecimento com outros ingredientes, como é o caso das sementes ou da farinha de chia. Diversos estudos (Ayerza e Coates, 2002; Borneo, *et al.*, 2010) já foram realizados sobre substituição de aditivos usuais na indústria alimentar e nas práticas culinárias, por ingredientes com capacidades semelhantes, com o objetivo de aperfeiçoamento do produto e de utilização do menor número de aditivos.

A verdade é que existem ingredientes com elevadas capacidades tecnológicas, podendo estes tornar possível o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e com outras características benéficas do ponto de vista organolético e nutricional. A chia apresenta características para ser um destes ingredientes, sendo referidos na literatura trabalhos que evidenciam a sua incorporação em matrizes alimentares, como substituto de ingredientes como o óleo ou os ovos (Borneo *et al.*, 2010). Este estudo revela que alimentos desenvolvidos com chia, tendo por base a sua propriedade gelificante, condicionam a composição nutricional dos alimentos desenvolvidos, a suas propriedades tecnológicas e a sua avaliação sensorial. Assim, nos bolos desenvolvidos por estes autores, substituindo parcialmente o óleo ou ovos por gel de chia, obtêm-se produtos finais com acentuadas diferenças em termos de valor energético, teor de $\omega 3$ e fibra. Fazendo uma comparação dos bolos estudados, verifica-se que o bolo controlo tem um valor energético de 335kcal/100g e que o bolo em que 75% (m/m) de ovo foi

substituído por gel de chia tem um valor energético de 325kcal/100g. No caso do bolo obtido com substituição de 75% (m/m) de óleo por gel de chia, o valor energético é de 282kcal/100g. A diferença entre estes três bolos também é notória se considerarem os teores de ómega3, que vão sendo maiores, quanto maior for a percentagem de gel de chia incorporada - bolo controlo (27,5mg/100g), bolo com 75% (m/m) de óleo substituído por gel de chia (138mg/100g) e bolo com substituição de 75% (m/m) ovos por gel de chia (203mg/100g) (Borneo *et al.*, 2010). Apesar da substituição do óleo ou ovos pelo gel de chia afetar positivamente a composição nutricional da preparação culinária, os mesmos resultados não se verificam quando se faz uma avaliação comparativa da textura dos bolos. Relativamente ao peso, não existem diferenças significativas entres os bolos, o que significa que o rendimento do bolo não é afetado com o uso do gel de chia. No entanto, o volume do bolo é alterado quando o óleo ou os ovos são substituídos pelo gel de chia. Verifica-se assim que quanto maior for a substituição, menor é o volume os bolos, correspondendo a bolos mais densos (Borneo *et al.*, 2010).

Para além dos bolos, que são já uma referência clássica na utilização de sementes e farinha de chia, existem diversas preparações culinárias onde estes ingredientes podem ser utilizados como espessantes ou gelificantes. Refira-se o desenvolvimento de sobremesas como por exemplo mousses ou pudins, ou de diversos pratos salgados. Usualmente as sementes de chia são também incorporadas em batidos de frutas ou até mesmo em águas aromatizadas, produzindo-se assim refrescos e *smoothies* com outras texturas (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008; Borneo *et al.*, 2010).

2.1.5.Legislação

Apesar da chia (*Salvia hispânica L.*) ser conhecida há muitos séculos e haver um consumo significativo desta semente no continente americano, só há relativamente pouco tempo é que a sua introdução nos mercados europeus foi autorizada. Atualmente a comercialização da chia é permitida na forma de sementes, existindo referências claras aos seus níveis diários recomendados.

De acordo com o Regulamento (CE) n.º258/97 do Parlamento e do Conselho Europeu, de 27 de janeiro de 1997, relativo a novos alimentos e ingredientes alimentares, foi autorizada pela Decisão 2009/827/CE da Comissão e ao abrigo do Regulamento (CE) n.º258/97, a colocação no mercado de sementes de *Salvia hispânica L.* como novo ingrediente alimentar para utilização em produtos de panificação com um teor máximo de 5% (m/m) de modo a manter as designações legais dos produtos de panificação.

Em 14 de abril de 2011, a empresa *The Chia Company* apresentou às autoridades competentes do Reino Unido um pedido de alargamento da utilização das sementes de *Salvia hispânica L.* como novo ingrediente no mercado. Solicitou a utilização de uma percentagem máxima de 10% (m/m) de sementes de *Salvia hispânica L.* em determinadas categorias alimentares e a venda de sementes de *Salvia hispânica L.* pré-embaladas com uma dose diária recomendada não superior a 15 g, de modo a garantir o equilíbrio nutricional.

Em 16 de março de 2012, o organismo competente do Reino Unido chegou à conclusão de que o alargamento das utilizações de sementes de *Salvia hispanica* L. às categorias alimentares propostas preenchia os critérios estabelecidos no artigo 3.º, n.º1, do Regulamento (CE) n.º258/97.

Através da Decisão de Execução da Comissão Europeia, de 22 de janeiro de 2013, foi assim permitida a colocação no mercado da União Europeia, de sementes de *Salvia hispanica* L., como novo ingrediente alimentar, após estas passarem pelo processo de limpeza e eliminação de flores, folhas e outras partes da planta.

Atualmente são vendidas ao consumidor final apenas numa forma pré-embalada, com notificação de utilização máxima de 10% (m/m) de sementes *Salvia hispanica* L. em produtos de panificação, cereais de pequeno-almoço e em misturas de frutos, nozes e sementes.

Todo o produto alimentar que contenha na sua composição sementes de *Salvia hispanica* L., tem de conter na rotulagem a designação “sementes de *Salvia hispanica* L.” com a informação de um consumo máximo de 15 g de sementes por dia.

Em relação à comercialização da farinha de chia, não existe regulamentação para o efeito, na Europa, apesar de este produto ser amplamente comercializado noutros países, como por exemplo no Brasil, México e Peru.

2.2. Géis alimentares

Reconhecer um gel alimentar é mais fácil que propriamente defini-lo. Biopolímeros como as proteínas e os polissacáridos são os principais responsáveis pela formação de estruturas gelificantes (Morris, 2007).

Foi Thomas Graham que introduziu o termo científico “gel” na segunda metade do século XIX (Oakenfull *et al.*, 1997). Na literatura existem diversas definições de gel, uma delas dada por Doublier e Thibault (1984), descreve um gel como sendo um sistema bifásico constituído por uma rede macromolecular tridimensional sólida, retendo na sua malha uma fase líquida. Devido ao tipo de organização da rede, esta apresenta uma resistência a certas tensões, tendo também a capacidade de reter moléculas de água e outros compostos de baixo peso molecular (Figura 6).

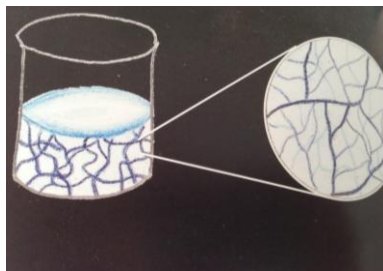


Figura 6 - Estrutura de um gel (Moura, 2011)

Como exemplos de biopolímeros gelificantes vulgarmente utilizados pela indústria e mesmo em preparações culinárias domésticas, podem citar-se: as pectinas, as carrageninas, os alginatos, o agar, o amido, a gelatina, as caseínas, a lactoglobulina e a proteína de soja. Estes biopolímeros são tradicionalmente utilizados para a produção de alimentos com base gelificante, como por exemplo os preparados de fruta, sobremesas, molhos, gelados, gomas, sopas e pudins (Vries, 2004).

Do ponto de vista reológico, um gel é um sistema viscoelástico com um módulo de conservação (componente elástica) superior ao módulo de dissipação (componente viscosa). Estes conceitos serão detalhadamente apresentados na secção 2.2.2. Dado ser um material viscoelástico, um gel pode ser considerado como um estado intermédio entre o sólido e o líquido. Devido à presença da componente elástica, o gel tem a capacidade de, quando submetido a tensões de deformação, recuperar a sua estrutura inicial. Por vezes a força da tensão aplicada ultrapassa o limiar de resistência da estrutura, ocorrendo uma deformação irreversível do gel.

Dependendo da força da tensão aplicada, o gel pode-se comportar como um gel forte, quando recupera a sua forma, ou um gel fraco, quando a tensão aplicada deforma a estrutura do gel comportando-se como um fluido. O tipo de rede formada é determinado pelo tipo de biopolímero e pelo processo de gelificação (Morris, 2007).

A capacidade de formação de gel, propriedade subjacente à formação de diversos alimentos, é considerada uma característica relevante para o desenvolvimento de produtos alimentares, pois confere ao alimento uma base de estrutura e de estabilidade.

Segundo Tolstoguzov (1992) a formação de gel é uma das propriedades funcionais mais importantes dos biopolímeros alimentares. O termo “propriedades funcionais” refere às características dos biopolímeros que contribuem para a estrutura do alimento. Neste contexto, e em termos práticos, funcionalidade é qualquer propriedade do biopolímero, além do seu valor nutricional, que determina a sua utilização como ingrediente alimentar (Pomeranz, 1991). Esta propriedade funcional contribui para a estrutura do alimento e para o impacto nas características sensoriais, determinando a aceitabilidade do produto alimentar por parte do consumidor.

No caso da farinha de chia podem referir-se dois conceitos de funcionalidade: por um lado a funcionalidade tecnológica – relacionada com a capacidade de formação do gel, e por outro a sua funcionalidade nutricional, relacionada com o seu papel bioativo.

2.2.1. Agentes gelificantes

São considerados como agentes gelificantes macromoléculas (maioritariamente proteínas e polissacáridos) com capacidade de dispersão e dissolução em soluções aquosas. Estas macromoléculas são designadas também por hidrocolóides (*Hidro-* capacidade de estabelecer

ligações com as moléculas de água; *Coloide*- dispersão homogênea de macromoléculas), pois apresentam característica que estão na base das propriedades referidas anteriormente e que condicionam o seu importante papel como modificadores da textura dos alimentos (Glicksman, 1969).

A adição de hidrocolóides numa formulação alimentar influencia a textura, a aparência, a sensação residual e tem implicações nas interações sinérgicas entre os diversos constituintes do alimento (Parimala e Sudha, 2012).

Nos últimos anos, a aplicação de hidrocolóides, e particularmente polissacáridos, que tradicionalmente eram mais utilizados a nível industrial e em investigação, tem chamado a atenção de profissionais de cozinha e do público em geral para este tipo de aditivos e suas características e potencialidades quando usados na prática culinária. No entanto essas potencialidades estão longe de ser totalmente exploradas devido à reduzida experiência dos utilizadores e falta de conhecimento sobre as suas características e métodos de trabalho envolvidos (Moura *et al.*, 2011).

Uma consequência benéfica do interesse crescente nesta área é o facto de atualmente estes hidrocolóides estarem acessíveis a preços razoáveis sendo amplamente alargado o seu campo de utilização (Imenson, 2010).

O presente trabalho trata de géis desenvolvidos a partir de matérias-primas que são essencialmente ricas em polissacáridos, havendo portanto lugar a uma explicação mais abrangente acerca da estrutura e seus mecanismos de atuação.

Existem diversos polissacáridos acessíveis comercialmente, mas a seleção do sistema a utilizar para uma determinada aplicação, requer um conhecimento abrangente das suas propriedades em solução (Sanderson, 1981; Glicksman, 1969), bem como a interação com outros ingredientes, o modo de atuação com a temperatura, a diferentes pH e diferentes forças iónicas.

A estrutura do polissacárido depende da sua origem, do seu método de extração e do seu grau de pureza. Estes fatores são cruciais na determinação do processo de gelificação e das características dos géis produzidos. Apenas alguns polissacáridos gelificantes são homopolissacáridos (ex. amilose e derivados de celulose) (Figura 7). A maioria dos polissacáridos com capacidade gelificante são heteropolissacáridos, que contêm mais que um tipo de unidades de açúcar. Os tipos de polímeros são variáveis, compreendendo estruturas irregulares não ramificadas, estruturas ramificadas regulares ou irregulares (Morris, 2007).

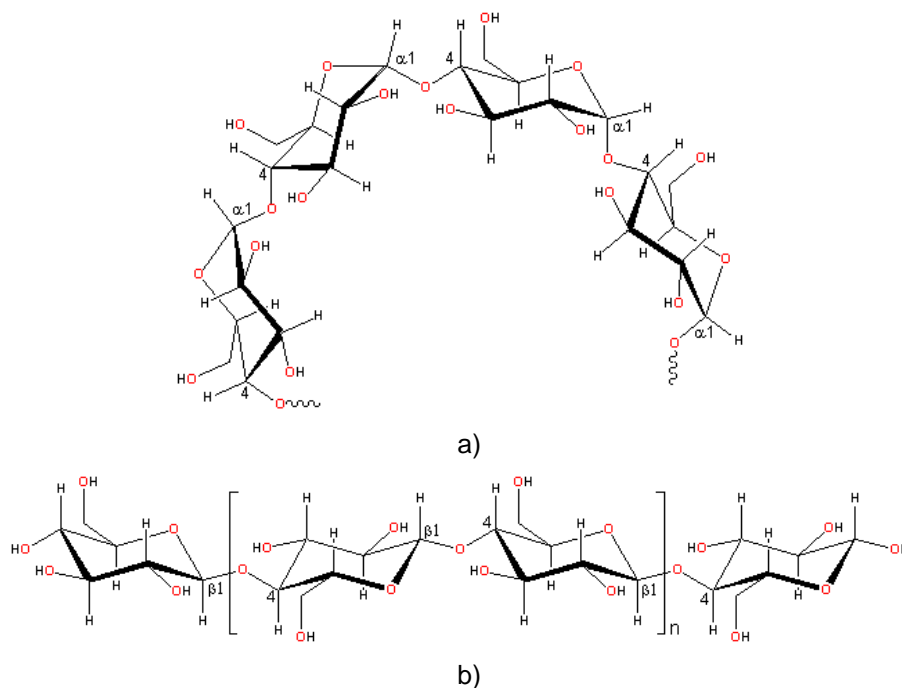
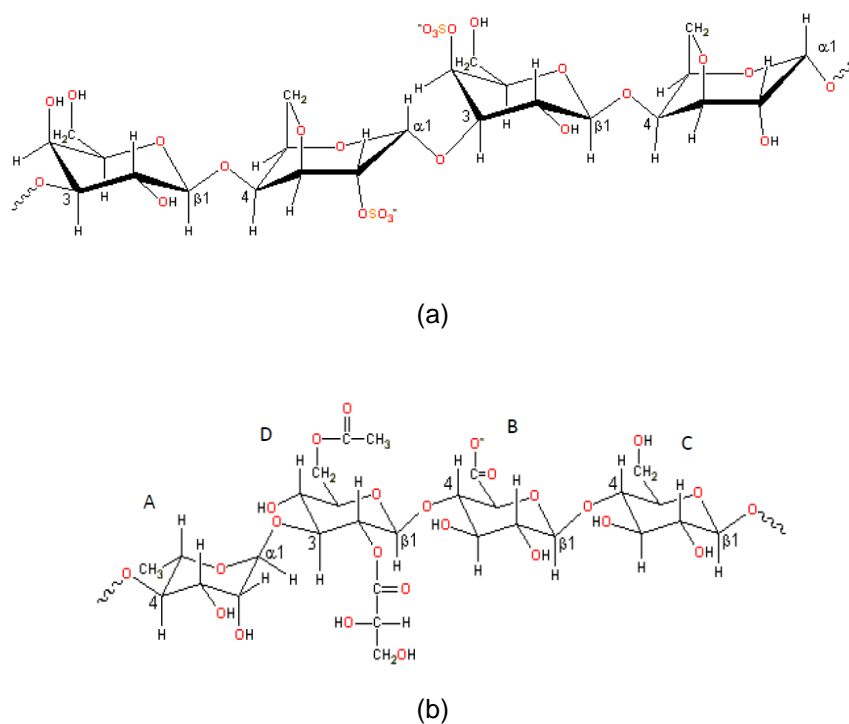


Figura 7 – Exemplos de homopolissacáridos. (a) amilose e (b) celulose (Chaplin, 2013).

Os polissacáridos podem ser extraídos das algas (carragenina (Figura 8 (a)), agar (Figura 8 (c)) e alginato (Figura 8 (d)), de sementes (goma guar e goma alfarroba), de extratos de plantas (pectinas), obtidos por fermentação bacteriana (goma xantana e goma gelano (Figura 8 (b)) ou obtidos por modificação química das macromoléculas naturais (derivados da celulose e amidos modificados) (Belitz e Grosch, 1997).



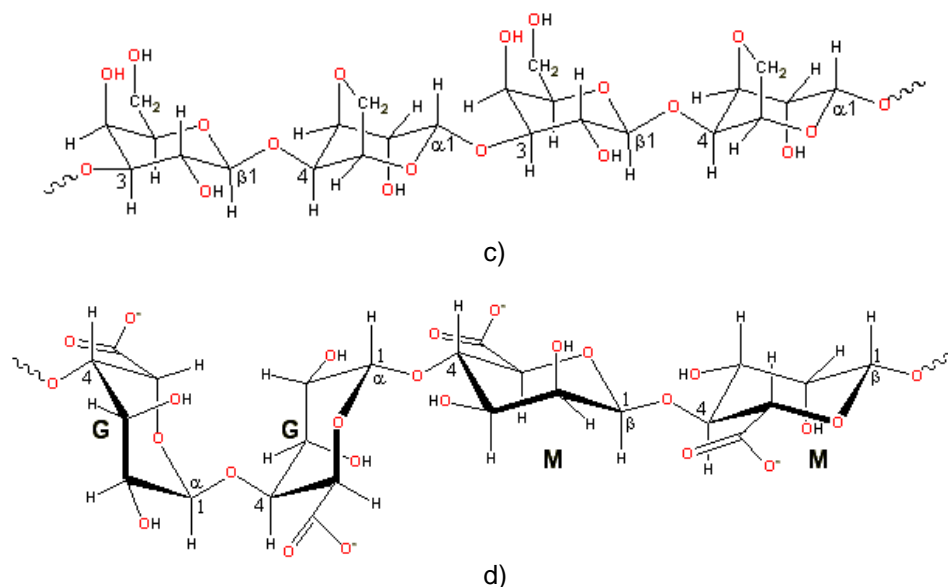


Figura 8 – Estruturas químicas de heteropolissacáridos da carragenina (a), gelano (b), agar (c) e alginato (d) (Chaplin, 2013).

De acordo com o papel exercido pelos polissacáridos na estruturação do alimento, a funcionalidade destes ingredientes poderá ser a de imobilizar parcialmente a fase líquida (alterando assim a textura) e estabilizar sistemas instáveis. Dependendo das condições do meio envolvente, como por exemplo a acidez, sais dissolvidos e temperaturas, as misturas com polissacáridos variam o seu comportamento, podendo ser mais ou menos adequados para a produção de uma determinada estrutura.

No Quadro 4 resume-se a principal funcionalidade dos polissacáridos mais relevantes para o desenvolvimento de produtos alimentares. Salientam-se funções como, espessar e/ou gelificar soluções aquosas, estabilizar espumas, modificar a textura, inibir a formação de cristais de gelo, controlar a libertação de sabores, modificar as propriedades de deformação de produtos semi-sólidos.

Quadro 4 - Características funcionais de alguns polissacáridos.

Polissacárido	Principal função
Agar	Agente gelificante
Alginato	Agente gelificante
Amido	Espessante e agente gelificante
Carboximetilcelulose	Espessante
Carragenina	Agente gelificante
Goma arábica	Emulsionante
Goma alfarroba	Espessante
Goma Guar	Espessante
Xantano	Espessante
Hidroximetilcelulose	Espessante e emulsionante
Metilcelulose	Espessante, emulsionante e agente gelificante
Pectina	Agente gelificante

Fonte: Myhrvold et al., 2011.

Recentemente, surgiram vários estudos sobre a utilização de substitutos de estabilizantes e texturantes tradicionais. Pode-se citar, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Hussein *et al.*, (2011), sobre a utilização de polissacáridos provenientes de plantas do Centro e Ocidente de África (ex. *Hibiscus esculents*; *Corchorus olitorius*; *Arum colocásia*). Características como o elevado teor de fibras e a presença de mucilagem na composição destas matérias-primas, favorecem a sua alta digestibilidade e possibilitam a sua utilização no desenvolvimento de receitas culinárias inovadoras. Uma abordagem semelhante é seguida no presente trabalho, com o recurso a farinha de chia.

2.2.2. Processos e mecanismos de gelificação

Existem diversos estudos que evidenciam a formação de redes tridimensionais estáveis resultantes do estabelecimento de interações entre diferentes polissacáridos, bem como entre polissacáridos e proteínas (Matveev *et al.*, 2000; DeMars e Ziegler, 2001; Nunes *et al.*, 2004; Leskauskaitė *et al.*, 2005; Nunes *et al.*, 2006). Estas interações são dependentes da solubilidade e associações intermoleculares, e são determinantes nas propriedades microestruturais dos alimentos, conferindo a estrutura da fase contínua do alimento (Hussein *et al.*, 2011). A partir da otimização dessas interações é possível desenvolver produtos alimentares gelificados com carácter inovador e com características físicas e sensoriais desejáveis.

Para se obter um gel estável, para além da seleção do sistema gelificante, das respetivas condições de dispersão e da hidratação, também é necessário ter em conta o tratamento térmico a efetuar para promover a gelificação – seleção do binómio tempo/temperatura que conduz à formação do gel e que depende das características dos polissacáridos utilizados. O número de átomos que formam a zona de junção, a força das ligações e a sua flexibilidade são propriedades importantes para a definição das características finais do gel, considerando o comportamento reológico do produto alimentar (Nunes *et al.*, 2004).

Como referido por Wong (1989) a formação de gel passa por uma etapa designada transição sol-gel (Figura 9). Em termos físicos, corresponde à passagem do estado líquido ao estado sólido. Em termos químicos, o fenómeno de gelificação implica a associação das cadeias poliméricas ou de segmentos de cadeias. Podem-se distinguir três etapas da formação de gel:

- (i) estado “sol”, onde o polímero forma uma solução; as macromoléculas não estão organizadas.
- (ii) estado “gel”, ocorre quando as cadeias estão suficientemente organizadas, de modo a formarem uma rede tridimensional.
- (iii) o gel contrai-se e exsuda uma parte da fase líquida, um fenómeno designado por sinérese, que é consequência da organização da rede, que se torna mais intensa, ficando o gel mais firme

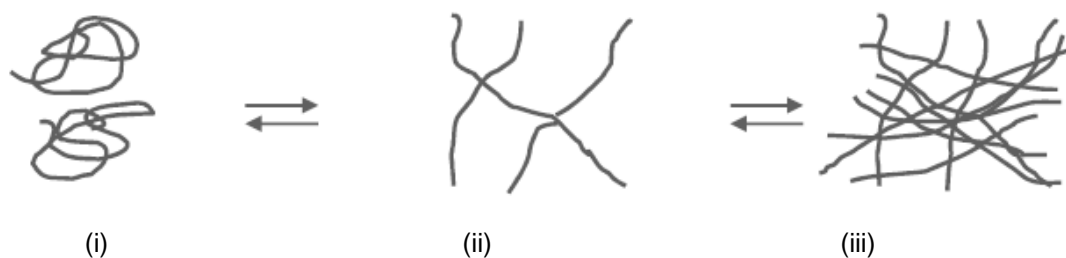


Figura 9 - Etapas de formação de gel – (i) estado “sol”, (ii) estado “gel”, (iii) organização da estrutura gelificada (Phillips e Williams, 2009).

O estado de gel não pode ser considerado um estado de equilíbrio verdadeiro, pois evolui com o tempo. Representa um compromisso entre as interações polímero/polímero e polímero/solvente. Como a maioria das ligações responsáveis pela estrutura dos géis de biopolímeros são interações fracas, tais como ligações hidrofóbicas ou ligações de hidrogénio, estas assumem características diferentes ao longo do tempo. Daí que seja fundamental estudar a maturação de um gel até atingir o seu estado de equilíbrio.

A funcionalidade de um gel é determinada pela distribuição espacial das suas macromoléculas e pela contribuição dos vários tipos de forças de ligação para a formação da rede. A contribuição dos diferentes tipos de ligações, para além das propriedades intrínsecas do biopolímero (massa molecular, composição, conformação), irá depender das condições do processo de gelificação: concentração de biopolímero, pH, temperatura, força iónica e tipos de iões e pressão hidrostática (Kinsella, 1979). O arranjo espacial das macromoléculas, e a sua resposta à deformação, pode por isso ser muito variável e ter impacto nas propriedades do gel, nomeadamente no comportamento reológico, transparência, características sensoriais e capacidade de retenção de água.

Os géis podem ser formados por agregados aleatórios de macromoléculas pouco estruturadas, que dão origem a géis opacos, ou por macromoléculas associadas de forma mais ordenada, dando origem a géis mais transparentes (Hermansson, 1986).

O peso molecular e a dimensão da cadeia do biopolímero também é um fator importante na formação do gel. As associações intermoleculares dos polissacáridos são estáveis apenas acima de um comprimento mínimo da cadeia (Wang e Cui, 2005).

Para a formação de gel, os polímeros alimentares têm de formar ligações fortes entre si, constituindo as zonas de junção. As energias das ligações nas zonas de junção do gel apresentam um papel bastante importante para a funcionalidade do mesmo. Ligações hidrofóbicas, ligações de pontes de hidrogénio, ligações de pontes de enxofre, interações electrostáticas e ligações mediadas por iões, fazem parte do conjunto de interações importantes para a formação de um gel. Estas interações diferem dos géis constituídos por polímeros sintéticos, que normalmente apresentam interações covalentes de cadeias

poliméricas (Clark, 2000; Walstra, 2003). Na Figura 10 estão representadas as ligações geralmente existentes entre polímeros para a formação de gel.

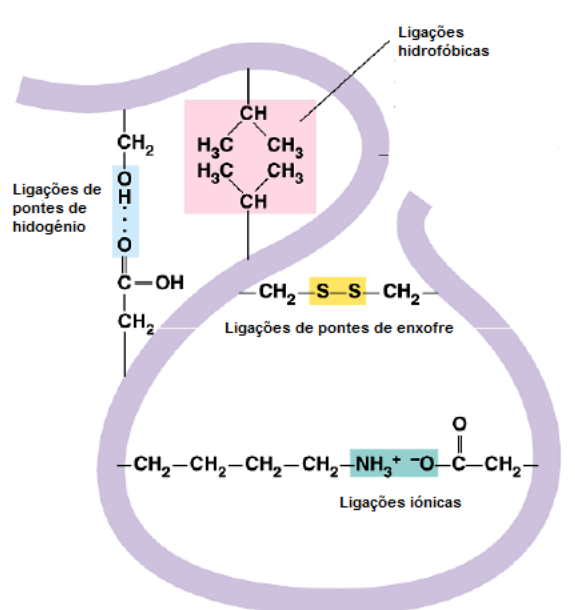


Figura 10 – Ligações existentes entre polímeros para a formação de gel (Belitz e Grosch, 1992).

2.3.Caracterização física de géis

Atualmente o consumidor apresenta uma grande exigência em termos de escolhas alimentares. Quando se trata da qualidade dos alimentos, os pré-requisitos relacionam-se em larga escala com características físico-químicas que determinam a componente física e consequentemente a avaliação sensorial.

A percepção sensorial resulta de informação transmitida pela visão, pela audição, pelo toque ou pelos sentidos químicos, sendo uma apreciação bastante complexa. Os resultados dependem de cada indivíduo, da experiência que tem e das condições do meio envolvente durante o momento da percepção. Assim, a avaliação sensorial individual pode ser subjetiva e variável (Walstra, 2003). A avaliação instrumental permite eliminar tal subjetividade, sendo por isso, fundamental para a caracterização dos alimentos e para o desenvolvimento de novos produtos.

A aceitação de produtos alimentares por parte dos consumidores não se refere apenas aos produtos tradicionalmente comercializados, mas também a novos produtos, que a um ritmo cada vez mais acelerado entram no mercado e que exigem um controlo específico, em termos de avaliação de textura e do comportamento em geral.

É possível estabelecer uma relação entre as propriedades de textura dos alimentos e a percepção sensorial dos mesmos (Bourne, 2002). Tal deve ser tido em conta no

desenvolvimento de produtos com características direcionadas para a preferência do consumidor.

Existe no mercado uma grande variedade de alimentos, com propriedades reológicas e de textura muito diversas, cuja quantificação requer uma adaptação dos métodos analíticos (Bourne, 2002).

2.3.1. Avaliação da textura de géis

A textura é uma propriedade difícil de definir, dependendo do significado que tem para o sujeito avaliador. São diversas as definições de textura disponíveis na literatura. Szczesniak em 1963 referiu que *“A textura é a composição de elementos estruturais de um alimento e a forma como são registados pelos sentidos fisiológicos”*. Mais tarde, Sherman (1970) acrescentou que *“A textura é constituída pelas propriedades (atributos), provenientes dos elementos estruturais dos alimentos e da forma como eles são percebidos com os sentidos fisiológicos”*. Em 1973, Kramer apresenta uma definição mais abrangente para textura: *“A textura é uma das três propriedades sensoriais primárias dos alimentos, inteiramente relacionadas com os sentidos, portanto, potencialmente passíveis de medição objetiva e direta em termos mecânicos, em unidades fundamentais de massa ou força”*. Mais recentemente Bourne, 2002 define as propriedades de textura de um alimento como *“um grupo de características físicas que advêm dos elementos estruturais do alimento. Estas propriedades são sentidas pelo tato e estão relacionadas com a deformação, desintegração e escoamento do alimento quando sujeitas a forças de deformação”*.

A norma ISO5492, define textura como sendo *“o conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e de superfície de um produto, detetáveis pelos recetores mecânicos e tácteis e, eventualmente pelos recetores visuais e auditivos”*.

Existem diversos tipos de testes que podem ser usados para avaliar a textura dos alimentos. Estes testes podem ser divididos por três tipos de ensaios físicos – fundamentais, empíricos e imitativos (Bourne, 2002).

De acordo com o alimento a estudar, os ensaios aplicados para avaliação da textura, podem variar, assim como o método usado e os parâmetros avaliados. No Quadro 5 são apresentados a título de exemplo alguns ensaios de textura e suas características.

Quadro 5 - Ensaios de textura e suas características.

Tipos de ensaio de textura	Campos de aplicação	Sondas utilizadas	Parâmetros determinados	Propriedades
Penetração	Frutos, vegetais, géis, produtos lácteos	Cilíndricas (vários diâmetros); Cónicas; Esféricas	Dureza, Fraturabilidade, Elasticidade, Firmeza; Consistência	Viscoelasticidade, Viscosidade, Plasticidade
Compressão	Pão, bolos, frutos	Pratos	Frescura, grau de maturação	Viscoelasticidade
Corte	Carnes, vegetais	Warner-Bratzler; Butter cutter	Resistência ao corte, Dureza, Firmeza	Plasticidade, Elasticidade, Consistência
Compressão-tensão	Cereais, frutos	Célula de Kramer	Dureza, Firmeza, Elasticidade	Plasticidade
Compressão-extensão	Frutos, massas, vegetais	Célula de Ottawa	Dureza, Compressão	Plasticidade, Elasticidade
Tração tênsil	Pão, massas	Tensil	Elasticidade	
Flexão	Pão, Bolachas, frutos	Torsão	Fraturabilidade, Flexibilidade	Plasticidade, Elasticidade

Fonte: Bourne, 2002.

Geralmente a análise dos parâmetros de textura de um alimento é realizada através de equipamentos adaptados ao mesmo – o penetrómetro, o compressímetro, o tenderómetro, o extrusímetro, o texturómetro.

O texturómetro é o equipamento mais utilizado e mais eficaz para a determinação dos parâmetros de textura dos alimentos. Este equipamento é formado por um dinamómetro que transfere a energia mecânica ao material a uma velocidade constante obtendo-se como resposta a força ou a tensão que essa energia provoca no material, ao longo do tempo ou da distância. O texturómetro utilizado neste trabalho foi o TA.XTplus que se encontra representado na Figura 11.

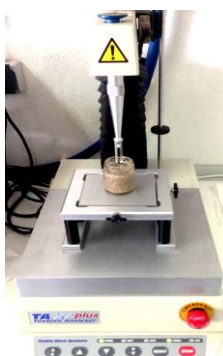


Figura 11 –Texturómetro TA.Xtplus da Stable Microsystems.

O princípio de funcionamento de um texturómetro passa por promover o contacto da sonda com a amostra, aplicando uma força determinada, provocando assim uma deformação no material. Através desta ação experimental obtêm-se as curvas de força *versus* tempo ou curvas de força *versus* distância, cuja análise e quantificação permite obter parâmetros que caracterizam instrumentalmente os materiais.

A composição e estrutura da amostra influenciam o comportamento dos materiais e consequentemente a avaliação dos seus parâmetros de textura. Para além da composição química do próprio alimento e do seu processamento, as condições dos ensaios influenciam a avaliação da textura. Para tal deve ter-se em conta a dimensão/geometria da amostra, o método de determinação, a sonda a utilizar e a temperatura da amostra e do meio ambiente.

De entre os métodos instrumentais utilizados para determinação dos parâmetros de textura dos alimentos, o utilizado neste trabalho foi o de Análise de Perfil de Textura (TPA). Neste método instrumental, também designado por “duas dentadas” (*two bite*), a sonda do texturómetro, atua duas vezes no material, aplicando forças de compressão ou penetração, com um tempo de espera entre as duas ações. Na Figura 12 representa-se um texturograma típico de um gel, semelhante aos obtidos no trabalho com a farinha de chia. Este teste simula a ação de mastigação e corte dos dentes, permitindo a análise do texturograma obter informações que se relacionam diretamente com a avaliação sensorial (Bourne, 2002).

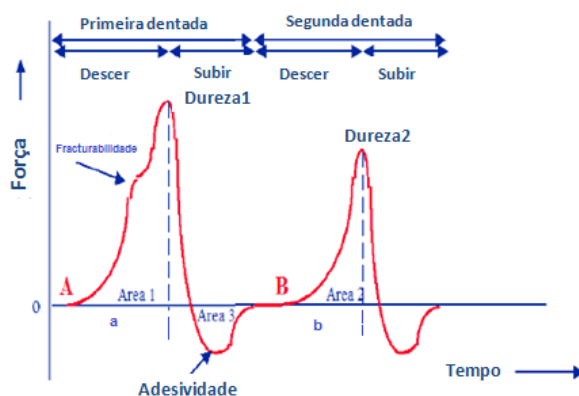


Figura 12 - Texturograma típico de um gel e seus parâmetros de textura (Bourne, 2002).

No Quadro 6 estão representadas as propriedades que podem ser quantificadas a partir deste método de determinação da textura e que estão diretamente relacionadas com a percepção sensorial.

Quadro 6 - Atributos mecânicos obtidos a partir do texturograma do TPA e sua relação com as características físicas e os atributos sensoriais – Textura e Análise Sensorial.

	Propriedades	Físicas	Sensoriais
Primárias	Dureza	Força máxima registada no primeiro ciclo de penetração ou compressão. Unidades: N ou Kgf	Força requerida para comprimir uma substância entre os dentes molares (sólidos) ou entre a língua e o palato (semisólidos)
	Coesividade	Razão entre o trabalho realizado no segundo ciclo e o trabalho realizado no primeiro ciclo (A2/A1) - adimensional .	Grau de compressão da substância, entre os dentes antes de quebrar.
	Adesividade	Trabalho necessário para ultrapassar as forças de atração entre o material e a superfície da sonda (A3). Unidades: Nxmm ou N.s.	Força necessária para remover o material aderente à boca (palato) durante o processo normal de mastigação.
	Elasticidade	Percentagem de recuperação do material. É a razão entre duas deformações, dado por: b/a.	Capacidade do produto voltar à forma inicial sem apresentar deformação.
	Fraturabilidade	Ocorre quando são registados dois picos durante o primeiro ciclo, é dado pela força registada no primeiro pico. Unidades: N ou kgf	Força para a qual o material desagrega, racha ou fractura.
Secundárias	Gomosidade (**)	Energia requerida para mastigar um alimento semisólido. Obtém-se: $\text{dureza} \times \text{coesividade} \times 100$. Unidades: N	Densidade (espessura) que persiste através do processo de mastigação.
	Mastigabilidade (**)	Energia requerida para mastigar o alimento. Obtém-se: $\text{gomosidade} \times \text{elasticidade}$. Unidades: N	Tempo necessário para mastigar uma amostra com uma intensidade de força aplicada constante, de forma a que ele tenha a consistência adequada para engolir.

Fonte: Bourne, 2002.

(**) Propriedades secundárias, que são definidas a partir de propriedades primárias e por isso são mais difíceis de utilizar como elemento característico da textura dos alimentos.

2.3.2.Caracterização reológica de géis alimentares

O conhecimento dos parâmetros reológicos dos alimentos são importantes para a previsão das suas propriedades de escoamento, assim como a sua influência na sensação residual da boca e na textura do produto (Nunes *et al.*, 2004).

Boger e Walters (1993) definem reologia como a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais, quando estes são submetidos a uma tensão de deformação. Esta definição permite o estudo de todos os materiais que são capazes de sofrer deformações. Os fluidos ideais seguem a lei de Newton e os sólidos ideais a lei de Hooke. Porém, a maioria dos alimentos apresenta um comportamento viscoelástico, exibindo propriedades intermédias entre os sólidos e líquidos ideais.

Em termos reológicos, considera-se que a forma como os materiais respondem às forças aplicadas e as respetivas deformações dependem da sua estrutura interna. Conceitos básicos

de tensão (força/área) e tempo do processo de deformação estão na base de todas as avaliações reológicas (Tabilo-Munizaga e Barbosa-Canovas, 2005).

Quando um material viscoelástico apresenta um comportamento linear, significa que nestas condições a razão entre a tensão e deformação, em qualquer instante ou frequência, é independente da magnitude da tensão ou deformação aplicada, sendo apenas função do tempo (Figura 13) (Ferry, 1980).

Para caracterizar a viscoelasticidade linear existem vários ensaios – testes de fluência e recuperação, relaxação de tensões e ensaios oscilatórios dinâmicos- que determinam as relações entre tensão, deformação e tempo.

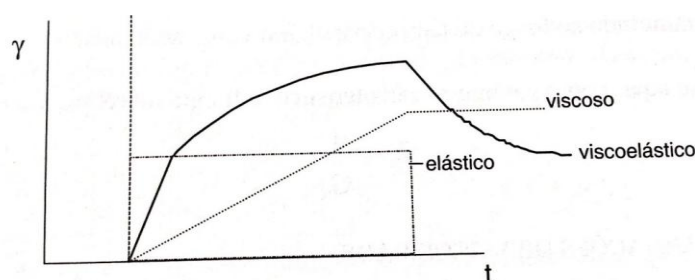


Figura 13 – Evolução da deformação ao longo do tempo em função de uma tensão aplicada (Sousa, 2001)

Os ensaios oscilatórios dinâmicos são importantes para a determinação da conformação macromolecular e avaliação das interações intermoleculares que ocorrem entre os componentes do sistema.

Testes de tensão-deformação são úteis no estudo do comportamento de géis alimentares e, geralmente podem ser classificados em dois tipos - testes de baixas e altas tensões de deformação. Os testes de baixas tensões referem-se à deformação de uma amostra quando apenas uma pequena percentagem de tensão é necessária para a deformar, sem que haja destruição da sua estrutura interna, correspondendo aos testes realizados na zona de viscoelasticidade linear. Este tipo de testes é realizado por meio de ensaios fundamentais, garantindo que as tensões ou deformações aplicadas são suficientemente reduzidas. Ensaios de grandes tensões referem-se à deformação de uma amostra até atingirem o ponto de deformação permanente da estrutura situando-se na zona de viscoelasticidade não linear (Tabilo-Munizaga e Barbosa-Canovas, 2005).

Devido às propriedades viscoelásticas dos géis, quando se pretende caracterizar o seu comportamento reológico, relacionando-o com a microestrutura dos géis, recorrem-se a testes de baixas tensões – testes oscilatórios.

O processo de gelificação altera as propriedades reológicas dos sistemas. A transição sol-gel (Figura 14) torna-se aparente não só devido ao aumento da viscosidade (que pode ser medida através de ensaios de escoamento), mas também devido à variação nos valores de G' e G'' dos sistemas quando sujeitos a testes oscilatórios.

O critério reológico experimental que define o ponto de gelificação a determinada frequência de oscilação, é o $G' = G''$ (Figura 14). Esta condição resume o momento a partir do qual o caráter elástico predomina em relação ao caráter viscoso do sistema (Ross-Murphy, 1991). Por outro lado para uma estrutura de biopolímeros, o tempo para o qual G' cruza G'' é dependente da frequência de oscilação.

Sendo que o tempo de gelificação é uma propriedade intrínseca do material, o critério de determinação do tempo de gelificação não pode ser dependente das condições experimentais aplicadas. Winter e Chamban (1986) definiram a transição sol-gel como sendo o ponto para o qual $\tan \delta = G'/G''$ é independente da frequência.

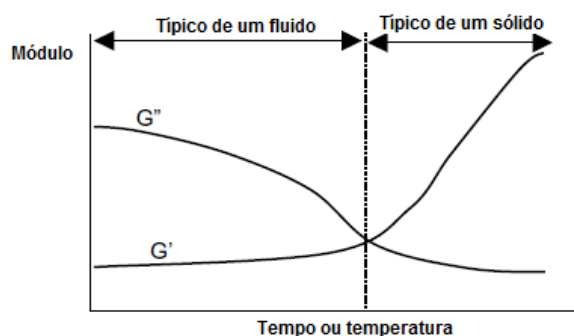


Figura 14 - Comportamento de um material viscoelástico no processo de gelificação (Tabilo-Munizaga e Barbosa-Cánovas, 2005).

Através dos testes dinâmicos reológicos é aplicado ao material uma tensão ou deformação que varia sinusoidalmente com o tempo, a uma determinada velocidade angular (ω) sendo medidas a amplitude e a diferença de fase entre a tensão e a deformação oscilatória.

Nos ensaios em que a deformação (γ) é controlada, esta varia com o tempo, de acordo com a relação (1):

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (1)$$

γ_0 - amplitude máxima de deformação.

A tensão (σ) resultante correspondente à deformação aplicada segue a seguinte forma:

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2)$$

O valor de G' é a medida da energia de deformação armazenada na amostra durante o processo de corte e representa o comportamento elástico da amostra. Por outro lado, o valor de G'' é a medida da energia de deformação usada na amostra durante a deformação, representando o comportamento viscoso da amostra (Mezger, 2002).

A tensão pode ser representada como a soma dos componentes que estão em fase com a deformação e 90° fora da fase com a deformação:

$$\sigma = \gamma_0 [(G'(\omega) \sin \omega t + G''(\omega) \cos \omega t)] \quad (3)$$

$G'(\omega)$ – módulo de armazenamento de energia (Pa)

$G''(\omega)$ – módulo de perda de energia (Pa)

Num sólido perfeitamente elástico quando G'' é igual a zero, isto significa que toda a energia é armazenada e a tensão e a deformação estão em fase. Num líquido perfeitamente viscoso, G' é igual a zero e tensão e deformação estão 90° fora de fase, isto é, toda a energia é dissipada em forma de calor.

Através das equações (1) e (3) podem-se obter os parâmetros viscoelásticos G' e G'' .

$$G'(\omega) = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \cdot \cos \delta \quad (4)$$

$$G''(\omega) = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \cdot \sin \delta \quad (5)$$

$$\tan(\delta) = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} \quad (6)$$

O módulo complexo $G^*(\omega)$ (7), expressa a magnitude da resposta global do fluido onde $G'(\omega)$ é o componente real e $G''(\omega)$ é o componente imaginário.

$$G^*(\omega) = G'(\omega) + iG''(\omega) \quad (7)$$

Representada pela equação (8), está expressa a magnitude de $G^*(\omega)$, correspondente à razão entre a amplitude de máxima tensão (σ_0) e a amplitude de máxima deformação aplicada (γ_0).

$$G^*(\omega) = \left[\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right] \quad (8)$$

Os três tipos de testes dinâmicos mais comuns que se realizam para se obter as propriedades dos géis, a gelificação e a fusão: (1) varrimento de frequências (*frequency sweep*); (2) varrimento de temperaturas (*temperature sweep*); (3) varrimento de tempo (*time sweep*) (Lopes da Silva & Rao, 1999).

- 1) Os *ensaios de varrimento em frequência* são considerados os ensaios oscilatórios mais comuns, pois estão relacionados com o estudo da variação do comportamento viscoelástico de um material em função da taxa de aplicação da tensão. Em função da frequência de oscilação aplicada, a determinada deformação e temperatura constante são obtidos os valores de G' e G'' . Com base nos valores obtidos de G' e G'' , atribuiu-se a designação de géis estruturados, a sistemas para os quais G' é superior (pelo menos 10 vezes) a G'' em toda a gama de frequências estudada. São considerados géis fracos, sistemas para os quais G' e G'' apresentam uma pequena diferença entre si e uma grande dependência face à frequência.

- 2) Os *ensaio de varrimento em temperatura* são úteis para o estudo de alterações estruturais ocorridas por consequência da variação de temperatura, durante a formação do gel. Os valores dos módulos viscoelásticos, G' e G'' , são determinados em função da temperatura, a uma frequência de oscilação constante.
- 3) Os *ensaio de varrimento em tempo* são geralmente designados por testes de maturação. Este tipo de testes são apropriados para o estudo de alterações estruturais do gel em função do tempo. Os valores de G' e G'' determinam-se em função do tempo, para valores de frequência de oscilação e temperaturas constantes.

Um dos parâmetros que caracteriza o comportamento do fluxo de alimentos líquidos e semilíquidos, é a **viscosidade**, que é um parâmetro intrínseco e uma medida de resistência do movimento do fluido (fluxo), quando uma tensão de deformação é aplicada. O comportamento de escoamento destes alimentos sob tensões aplicadas, classifica o material como sendo Newtoniano ou não-Newtoniano. Fatores como o aquecimento, arrefecimento, homogeneização e cristalização influenciam o comportamento de fluxo de um material durante o seu processamento (Bhattacharya, 1997).

A maioria dos alimentos não apresenta um fluxo com um comportamento Newtoniano, tal como se referiu, são essencialmente viscoelásticos. Para os líquidos não-Newtonianos, a viscosidade é uma função da velocidade de deformação.

De acordo com a lei de potência é possível descrever, de um modo genérico, o comportamento dos fluidos não-Newtonianos – reofluidificantes ($n < 1$) e reoespessantes ($n > 1$). O comportamento reoespessante, que é definido pelo aumento de viscosidade com a taxa de deformação, não é muito comum em alimentos. Pela equação de Cross (2), define-se o comportamento dos fluidos reofluidificantes, obtendo-se a variação da viscosidade com a taxa de deformação (Sousa, 2001).

$$\left[\frac{\eta_0 - \eta_\infty}{\eta - \eta_\infty} \right] = (k \dot{\gamma})^m \quad (9)$$

Onde η_0 corresponde à viscosidade limite do primeiro patamar Newtoniano e η_∞ refere-se ao segundo patamar Newtoniano, sendo k e m constantes do modelo.

Um fluido é considerado reofluidificante quando a viscosidade diminui com a velocidade de deformação, o que significa que à medida que uma determinada taxa de deformação é aplicada, vai-se destruindo a estrutura interna do material, o que corresponde a um decréscimo de viscosidade. Para taxas de deformação mais elevadas ocorre uma reestruturação das moléculas, correspondendo a um fluxo conjunto de agregados, que através de um processo dinâmico estabelecem um equilíbrio, correspondente ao segundo patamar Newtoniano. Este tipo de estruturação do material que condiciona a variação da viscosidade aparente com a velocidade de deformação está ilustrado na Figura 15.

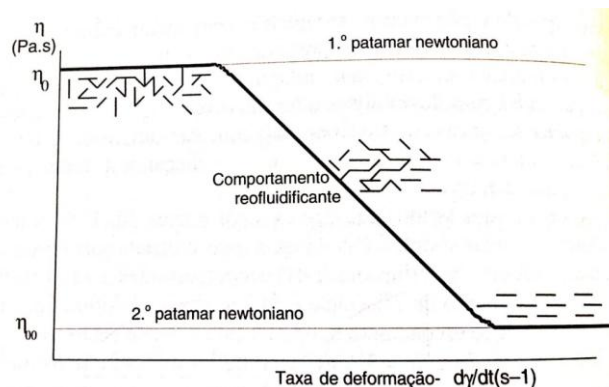


Figura 15 - Variação da viscosidade aparente de uma solução de um polímero de moléculas em forma de bastonete alongado. Alinhamento sucessivo dos bastonete segundo as linhas de corrente (Sousa, 2001).

A viscosidade pode também aumentar ou diminuir com o tempo, mesmo quando a velocidade de corte é constante, dependendo da natureza do fluido. Neste caso, o fluido é designado por fluido dependente do tempo (Bhattacharya, 1997).

O desenvolvimento industrial de géis e a sua relação com o impacto sensorial dos mesmos envolve o recurso conjunto a diversos métodos anteriormente descritos, que culminam com a determinação de um conjunto de atributos que se consideram mais representativos da estrutura de um gel (Walstra, 2003).

De referir:

- “Força de gel” – força requerida para a rutura da estrutura
- “Friabilidade” - deformação correspondente à rutura
- “Elasticidade” - taxa de recuperação da sua forma inicial após deformação (sem rutura)
- Temperatura de gelificação
- Tempo de maturação
- Temperatura de fusão

2.3.3. Avaliação instrumental da cor

A cor é um dos principais atributos dos alimentos. Geralmente, a cor de um alimento está ligada de uma forma direta ao aspeto e é muitas vezes um importante sinal da sua qualidade.

Para a determinação instrumental da cor de produtos alimentares pode recorrer-se ao colorímetro (Figura 16), que funciona acoplado a uma fonte de iluminação padrão, sendo os resultados avaliados pelo sistema de coordenadas L^* , a^* e b^* , também referido como sistema CIELAB.

Representadas esquematicamente na Figura 17 estão as coordenadas do sistema de medição da cor e respetivas cores associadas. L^* mede a luminosidade, variando entre $L^*=100\%$ (claro)

e $L^*=0\%$ (escuro). A componente a^* representa a diferença entre a cor verde ($-a^*$) e o vermelho ($+a^*$) e a componente b^* varia entre a cor azul ($-b^*$) e o amarelo ($+b^*$). Através do conjunto das três coordenadas (L^* , a^* e b^*) a cor é descrita objetivamente e pode ser localizada no espaço de cor. Tal procedimento é importante para fazer a comparação entre a cor de vários alimentos e para acompanhar a evolução da cor ao longo do tempo (Sahin e Sumnu, 2006).



Figura 16 - Colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Japão)

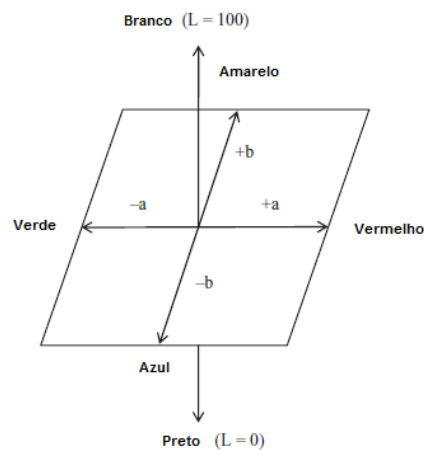


Figura 17 - Sistema de coordenadas $L^*a^*b^*$ (Sahin e Sumnu, 2006)

2.4.Desenvolvimento de novos produtos alimentares

De acordo com Peter Drucker (2002) a inovação que assenta no conhecimento é a grande estrela do empreendedorismo.

Com a globalização dos mercados a competitividade entre as empresas é cada vez maior e requisitos como o nível de *competência* e *inovação* são tomados como essenciais para uma evolução de sucesso (Sousa, 2001).

A inovação é essencial para o crescimento e desenvolvimento económico e social dos vários mercados de comercialização existentes. A principal razão para estratégias de inovação tem sempre associado o objetivo de se conseguir obter sucesso, melhorando o nível financeiro e económico das empresas. Contudo, a existência de uma *necessidade* é igualmente um motor importante para a criação de soluções inovadoras, e o aumento da preocupação dos

consumidores com a alimentação levou a um crescente desenvolvimento de novas tecnologias e melhorias de produtos por parte da indústria alimentar.

A inovação está ligada a vários aspetos relacionados com o desenvolvimento de novos produtos. Nomeadamente:

- uma nova tecnologia de produção,
- uma nova variante do produto,
- uma nova forma de distribuição,
- um novo tipo de embalagem.

Por abranger diversos parâmetros e requisitos, o desenvolvimento de um novo produto é um processo complexo (Figura 18). De acordo com Fuller (1994) a definição de desenvolvimento de um novo produto pode ser abordada quer no desenvolvimento e introdução de um produto não desenvolvido anteriormente ou a apresentação de um velho produto dentro de um novo mercado não anteriormente explorado.



Figura 18 - Fases do processo de desenvolvimento de novos produtos (Silva *et al.*, 2009)

A reformulação de produtos alimentares pode melhorar certos aspetos como a cor, o *flavour*, a composição nutricional, a estabilidade na estrutura interna do alimento, a sua capacidade de atuação em mercados específicos – caso dos alimentos passarem a ser funcionais, e os custos. Existem várias razões para reformular um produto, um exemplo concreto é o desenvolvimento de produtos alimentares isentos de glúten, o aumento do teor de fibras, o enriquecimento com ácidos gordos ómega3. A introdução de matérias-primas com características que podem substituir outros ingredientes, e que sejam favoráveis a outros nichos de mercado, pode vir a melhorar aspetos de formulações já padronizadas (Fuller, 1994). Existem duas vias privilegiadas para o desenvolvimento de novos produtos alimentares, por parte das empresas – o recurso a novos processos tecnológicos ou o recurso a novos

ingredientes. A utilização de novos ingredientes é muitas vezes a estratégia mais recorrente, pois envolve menos custos e nem sempre implica alterações profundas nos processos produtivos.

Atualmente, a ligação entre a biotecnologia e a investigação de novos ingredientes é cada vez maior. O interesse dos consumidores pelos produtos naturais e produtos alimentares desenvolvidos a partir de ingredientes de origem natural tem tido um grande impacto em termos de exploração de novos produtos alimentares (Silva *et al.*, 2009).

Entre os consumidores a palavra “natural” chama mais a atenção que outros produtos alimentares que não contenham esta designação. A necessidade da existência no mercado de ingredientes naturais com propriedades funcionais, como maior tempo de conservação, capacidade de espessamento e de emulsão, coloração, assim como propriedades nutricionais/farmacêuticas, tem crescido de modo muito acentuado nos últimos tempos.

2.4.1. Valorização de subprodutos alimentares com elevado valor nutricional

Do processo de transformação de frutas, vegetais e oleaginosas, resulta uma elevada quantidade de resíduos, tais como cascas, sementes e raízes. A valorização destes resíduos das indústrias alimentares poderá ser uma importante via para a competitividade global das empresas (Oreopoulou e Tzia, 2007). De facto, o desperdício alimentar resultante de processos de extração e transformação de matérias-primas alimentares com elevado valor nutricional é cada vez maior. Os subprodutos que ficam após estes processamentos geralmente ainda apresentam características tecnológicas e composições nutricionais desejáveis para poderem ser explorados. Contudo, por ainda não terem sido largamente investigados, estes resíduos são na maior parte dos casos considerados desperdícios sem qualquer rentabilização, ou uma vez que são de origem biológica, são encaminhados para ração animal ou fertilizantes para terras agrícolas (Russ e Schnappinger, 2007).

Mais recentemente utilizações como produção de aditivos ou suplementos alimentares com elevados valores nutricionais, começaram a assumir algum interesse aquando da valorização de subprodutos (Oreopoulou e Tzia, 2007). De facto, diversos subprodutos agroindustriais são ricos em fibras dietéticas, e alguns deles ainda contêm quantidades apreciáveis de proteína, compostos antioxidantes e outras substâncias com efeitos benéficos para a saúde. Os elevados teores de fibra dietética são um fator importante de valorização já que estas têm um importante papel na prevenção de doenças, para além de apresentarem propriedades funcionais, tais como a capacidade de retenção de água que confere a capacidade de formação de gel e assim contribui para a textura de alimentos (Oreopoulou e Tzia, 2007).

O interesse pelo aproveitamento de subprodutos tem vindo a crescer, e é com esse objetivo que surgem trabalhos de investigação como o de Pires *et al.*, 2009 e Torres *et al.*, 2013 que dão importância e ênfase à reutilização de subprodutos das indústrias alimentares, para o

desenvolvimento de novos produtos ou para a substituição de aditivos industriais em reformulações de produtos já existentes. Este é também um dos objetivos centrais do trabalho – o potencial de valorização da farinha de chia.

Estes trabalhos inserem-se ainda nas novas tendências em que valores como o respeito pelo meio ambiente e a sustentabilidade são determinantes, assim como a valorização de culturas, conhecimentos e produtos ancestrais. Por outro lado respondem também às preocupações do consumidor com uma alimentação saudável e natural. O processo de globalização, consequência da atual facilidade de acesso a uma grande diversidade de alimentos, muitos deles característicos de outras culturas, teve como consequência um aumento da diversidade alimentar e técnicas culinárias. Tal, aliado a novos conhecimentos resultantes da investigação em ciências nutricionais e da saúde e ciências alimentares, fez com que investigadores na área alimentar e chefes de cozinha, pusessem em prática novas ideias de produção, envolvendo novos ingredientes e técnicas, criando assim novas oportunidades de consumo.

3. Materiais e métodos

3.1. Materiais

A matéria-prima utilizada neste trabalho foi uma farinha de chia, triturada com uma picadora clássica 1 2 3 - A320R1, *Moulinex* a partir de sementes de chia provenientes do Perú da marca Midzu (Figura 19 (a)). Após trituração a farinha obtida foi submetida a uma separação com um sistema de peneiros com 1mm e 0,5mm de granulometria.

Obtiveram-se três frações diferentes da farinha peneirada, uma com uma granulometria maior que 1mm, outra entre 1mm e 0,5mm e uma farinha mais fina com uma granulometria menor que 0,5mm. Esta classificação foi efetuada com um sistema de peneiros em inox (segundo norma AFNOR NFX 11504).

Para os fins experimentais do presente trabalho a farinha escolhida foi a de granulometria entre os 1mm e 0,5mm (Figura 19 (b)).



Figura 19 – Sementes de chia da marca Midzu (a); farinha de chia para estudo com granulometria entre 1mm e 0,5mm (b).

No presente trabalho também se realizaram preparações gelificadas com duas farinhas de chia comerciais, uma desengordurada – “Sturla” proveniente da Argentina (Figura 20 (a)) e outra completa – Sabor da Terra (sofreu apenas o processo industrial de trituração da semente de chia) proveniente do Brasil (Figura 20 (b)).

Com o objetivo de obter informação relevante para desenvolver aplicações culinárias inovadoras com a farinha de chia, foi estudado o efeito da adição de sacarose, xilitol e mel para a produção de aplicações doces e diversos sais: KCl, NaCl, CaCl₂ e MgCl₂ para avaliar o efeito dos mesmos no desenvolvimento de aplicações salgadas.



Figura 20 - Farinhas de chia comerciais – “Sturla” (a) e “Sabor da Terra” (b)

Com o objetivo de aumentar o leque de alimentos possíveis de serem consumidos por pessoas com algumas restrições alimentares, como por exemplo indivíduos celíacos, foi estudada a interação da farinha de chia com a farinha de arroz (Globo) na estabilização de géis.

3.2. Métodos

3.2.1. Composição química

3.2.1.1. Determinação da matéria gorda total

Os teores dos lípidos totais nas amostras de farinha de chia em estudo, foram determinados segundo o procedimento analítico para cereais e derivados, baseado na norma portuguesa NP 4168 (1991). Este método consiste na hidrólise de ligações entre lípidos, proteínas e glúcidos através do tratamento com ácido clorídrico, etanol e ácido fórmico. A amostra de farinha de chia para extração da matéria gorda é colocada num balão sendo de seguida submetida ao tal processo de hidrólise através dos reagentes mencionados anteriormente. De acordo com o procedimento, a recolha da fração lipídica faz-se com hexano, após hidrólise da amostra. No final a mistura contida dentro do balão apresenta uma fase orgânica (rica em hexano) (cima) e uma fase aquosa (baixo) (Figura 21). Para se proceder à separação destas duas fases, devido à elevada capacidade gelificante da farinha de chia, o processo de separação previsto na norma não foi eficaz. Recorreu-se a uma adaptação do método de separação por um sistema de tubos esmerilados (Figura 22), facilitando assim a recolha da fase orgânica. O solvente foi posteriormente eliminado num evaporador rotativo (Laborota 4000, Heidolph), obtendo-se assim o resíduo lipídico.

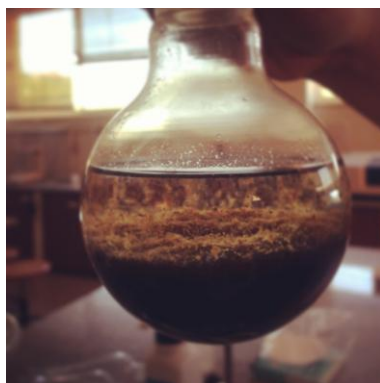


Figura 21 - Balão com a fase orgânica e a fase aquosa para a extração da matéria gorda



Figura 22 - Sistema de extração adaptado ao método da norma portuguesa NP 4168 (1991) determinação da matéria gorda total da farinha de chia.

O cálculo da matéria gorda total foi determinado recorrendo à equação (10):

$$\text{Matéria gorda total (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (10)$$

Sendo:

m – a massa, em gramas da toma para análise

m1 – a massa, em gramas do balão

m2 – a massa, em gramas do balão contendo o resíduo

3.2.1.2.Determinação da proteína total

De acordo com a norma ISO20483 (2006) para cereais e leguminosas foi determinado o teor de azoto presente na farinha de chia. Esta norma baseia-se no método de Kjeldhal, segundo o qual a amostra foi digerida (digestor Bloc Digest), seguindo-se a destilação (destilador Pro-Nitro II, Selecta P). Após esta fase, o destilado foi titulado com uma solução de HCl 0,1N. O teor de proteína existente na amostra foi calculado com base na equação (11), multiplicando o valor obtido pelo fator de conversão azoto:proteína– 5,83 (Tkachuk, 1969) específico para cereais ou oleaginosas.

$$\text{Azoto (\%)} = \frac{(V_{\text{HClamostra}} - V_{\text{HClbranco}}) \times 1,4 \times [\text{HCl}]}{m} \quad (11)$$

Sendo:

$V_{\text{HClamostra}}$ – volume de HCl gasto na titulação da amostra (ml)

$V_{\text{HClbranco}}$ – volume de HCl gasto na titulação do branco (ml)

[HCl] – normalidade da solução titulante após aferição do título (N)

m – massa da amostra (g)

3.2.1.3.Determinação da fibra total (fibra insolúvel e fibra solúvel)

Os teores de fibra total existentes na farinha de chia (solúvel e insolúvel) foram determinados a partir do método gravimétrico enzimático descrito por Prosky *et al.*, (1988).

Previamente à determinação de fibra total, as amostras de farinha de chia foram desengorduradas com éter de petróleo, de modo a apresentarem um teor de gordura inferior a 10%, viabilizando a realização do método. Iniciou-se a determinação dos teores de fibra com a digestão enzimática das amostras com α -amilase, protease e amiloglucosidase. Após este processo as amostras foram precipitadas com etanol 95% (v/v) a 60°C durante 1h. Seguiu-se a filtração (Figura 23) do precipitado, ficando assim com o resíduo de fibra insolúvel. Este resíduo foi submetido a lavagens consecutivas de etanol 78% (v/v) e 95% (v/v) e acetona. O filtrado obtido na primeira filtração é submetido a uma segunda filtração igualmente com as consecutivas lavagens de etanol e acetona anteriormente descritas, obtendo-se assim a fibra solúvel. Os cadinhos contendo os resíduos resultantes foram colocados numa estufa a 130°C durante 1h30 até atingirem peso constante.

Em simultâneo foram efetuados ensaios em branco (sem amostra).



Figura 23 - Sistema de filtração de fibra total a partir do método Prosky *et al.*, (1988).

A partir dos resultados obtidos é possível calcular os teores de fibra insolúvel, solúvel e, por adição, da fibra total, de acordo com as expressões:

$$\text{Fibra total (\%)} = \text{fibra insl.} + \text{fibra sol.} \quad (12)$$

$$\text{Fibra insol. (\%)} = \frac{m_{ri} - m_{branco}}{m} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Fibra sol. (\%)} = \frac{m_{rs} - m_{branco}}{m} \times 100 \quad (14)$$

Sendo:

m – a massa, em miligramas da toma para análise

m_{ri} – a massa, em miligramas do resíduo obtido da toma para análise de fibra insolúvel

m_{rs} – a massa, em miligramas do resíduo obtido da toma para análise de fibra solúvel

m_{branco} – a massa, em miligramas do resíduo obtido do branco

fibra insl. – a percentagem total da fibra insolúvel

fibra sol. – a percentagem total da fibra solúvel

3.2.1.4.Determinação da humidade

Os teores em humidade da farinha de chia foram determinados a partir da norma portuguesa NP516 (2000) para cereais. Este método gravimétrico consiste na secagem da amostra a uma temperatura de 130°C±3°C até peso constante.

A determinação do teor de humidade foi calculado recorrendo à equação (15)

$$W (\%) = \left(1 - \frac{m_1}{m_0} \right) \times 100 \quad (15)$$

Sendo:

m₀ – a massa, em gramas da toma para análise

m₁ – a massa, em gramas da toma para análise após secagem

3.2.1.5.Determinação de cinza

O teor de cinza presente nas amostras de farinha de chia foi determinado segundo a norma portuguesa NP518 (1986) para cereais e leguminosas. Este método consiste na incineração das amostras a 550°C±10°C em mufla, até combustão completa da matéria orgânica e obtenção de uma massa esbranquiçada. De seguida, o resíduo foi pesado e submetido a secagens até peso constante.

A determinação do teor de cinza foi efetuado através da equação (16):

$$\text{Cinza (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1} \times 100 \quad (16)$$

Sendo:

m₀ – a massa, em gramas do cadinho

m₁ – a massa, em gramas da toma para análise

m₂ – a massa do cadinho mais a cinza em gramas

3.2.2. Absorção de água

A determinação do índice de absorção de água e do índice de solubilidade da farinha de chia foi realizada através do método modificado de Leach *et al.*, (1959). Este método envolveu a suspensão da amostra numa massa de água conhecida, num tubo de centrífuga. As suspensões foram submetidas a uma agitação suave a diferentes temperaturas de incubação (25°C, 35°C, 50°C e 90°C) durante 30 min. As amostras foram centrifugadas (Sigma 3K30H, Sartorius) a 10000 rpm durante 10 min, obtendo-se duas fases (*pellet* (m_{H_2O}) e sobrenadante (m_s)). A massa do resíduo após evaporação (m_r) é obtida por secagem do sobrenadante a $105 \pm 2^\circ\text{C}$.

A determinação do IAA e do IS é efetuada com recurso às equações seguintes:

$$\text{I.A.A} = \frac{(m + m_{H_2O})}{m - m_r} \quad (17)$$

$$\text{I.S. (\%)} = \frac{m_r}{m_s} \times 100 \quad (18)$$

Sendo:

m – a massa, em gramas da toma para análise

m_{H_2O} – a massa, em gramas da água absorvida pela amostra

m_r – a massa, em gramas do resíduo após evaporação

m_s – a massa, em gramas do sobrenadante

Para todas as análises químicas realizadas, foram efetuadas três réplicas das amostras preparadas.

3.3. Géis de farinha de chia

3.3.1. Preparação dos géis

Todos os géis estudados tiveram um processo de preparação semelhante, variando apenas a sua composição, de acordo com a parte do trabalho em causa. As dispersões a estudar (farinha de chia isolada ou com os restantes ingredientes) sofreram inicialmente um processo de hidratação, sob agitação mecânica num agitador Eurostar Digital, IKA-WERKE, 30min a 350rpm à temperatura ambiente. Seguidamente, as suspensões foram distribuídas por três frascos com 35mm de altura e 32mm de diâmetro (para se obterem três réplicas da amostra). De seguida, procedeu-se à desnaturação das suspensões considerando diversos binómios tempo/temperatura. Posteriormente os géis tiveram um período de maturação num frigorífico a 4°C durante cerca de 12 horas.

Os sistemas gelificados de farinha de chia (com a granulometria selecionada, como referido no ponto 3.1) foram preparados de acordo com os objetivos específicos de cada estudo:

- a) Determinação da concentração crítica de gelificação da farinha de chia: foram preparadas suspensões (90g cada) com 1, 4, 6, 10, 12 e 13 % (m/m) de farinha de chia, em água destilada.
- b) Otimização das condições térmicas para a produção de géis de chia: considerando um teor de farinha de chia de 13% (m/m), testaram-se temperaturas de aquecimento de 50°C e 90°C durante 30 min.
- c) Interação entre a farinha de chia e uma base amilácea – farinha de arroz:

Para estudar a possibilidade de utilização de matrizes binárias entre farinha de chia e farinha de arroz, recorreu-se a um planeamento experimental baseado na metodologia das superfícies de resposta (RSM), usando uma matriz de planeamento centrada, composta e rotativa (Gan *et.al*, 2007). Este método tem sido utilizado para avaliar e quantificar a influência de diferentes variáveis de um processo, e das interações entre elas, nas propriedades mecânicas de sistemas alimentares (Xu *et al.*, 1992; Lundin e Hermansson, 1998; Raymundo *et al.*, 1998; Sousa *et al.*, 1998). Este método permite obter equações matemáticas que correlacionam variáveis dependentes ou respostas (y) com variáveis independentes (xi) do processo.

Os resultados foram tratados recorrendo ao programa estatístico STATISTICA, versão 10 da StatSoft Inc. (1984-2011).

Consideraram-se como variáveis independentes a farinha de chia (x_1) e farinha de arroz (x_2), que variaram de acordo com o Quadro 7:

Quadro 7 - Matriz de planeamento experimental para o estudo do efeito das farinhas de chia e de arroz nas propriedades gelificantes.

Ponto da matriz	(0; 1,414)	(-1;1)	(1;1)	(-1,414; 0)	(1,414;0)	(-1;-1)	(1; -1)	(0; -1,414)	(0;0)
X_1 (farinha de chia, %)	8	6,6	9,4	6	10	6,6	9,4	8	7,2
X_2 (farinha de arroz, %)	16	15,4	15,4	14	14	11,4	11,4	12	12,6

Como variáveis dependentes (Y) consideraram-se: parâmetros de textura, parâmetros de cor e viscosidade dos géis.

- d) Avaliação da adição açúcares: estudou-se a incorporação de sacarose, xilitol e mel, com teores entre 2 e 25% (m/m).
- e) Avaliação da incorporação de sais: testou-se a adição de KCl, NaCl, CaCl_2 e MgCl_2 com concentrações de 0,5; 1; 1,5 e 2% (m/m).

3.3.2.Caracterização física

3.3.2.1.Análise da Cor

A determinação da cor dos géis foi realizada num Colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Japão), em função da refletância e com apresentação dos resultados de acordo com o sistema CIELAB, em termos das coordenadas L^* , a^* e b^* , cujo significado foi já referido na secção 2.3.3. O equipamento foi previamente calibrado com um padrão branco Minolta ($L^*96,96$, $a^*0,37$, $b^*2,10$) e um ângulo de visão de 2° . O resultado foi lido diretamente no visor do aparelho e foram realizadas 3 leituras em cada réplica.

3.3.2.2.Análise de Textura

A análise de textura dos géis de farinha de chia foi realizada num texturómetro TA.XT-plus (Stable Microsystems, Reino Unido), numa sala com temperatura ambiente controlada ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), recorrendo a testes de análise de perfil de textura (TPA), em modo de penetração (10 mm de profundidade). Considerou-se um período de 5 s entre os dois ciclos e a sonda cilíndrica de 10 mm de diâmetro teve uma velocidade de entrada e saída da amostra de 2 mm/s. Os ensaios foram realizados nos frascos (35 mm de altura e 32 mm de diâmetro) onde ocorreu a gelificação, após as 24 h horas de maturação no frigorífico, sendo colocados meia hora antes dos testes à temperatura ambiente, para estabilização da temperatura.

Os parâmetros de textura obtidos foram descritos na secção 2.3.1. a partir dos texturogramas (curvas força vs tempo) obtidos para os géis de chia, apenas se consideraram para análise a firmeza (N), a adesividade (N.s) e a coesividade, por se verificar que foram os atributos que melhor discriminavam as características dos géis.

3.3.3.Caracterização reológica dos géis

A caracterização reológica dos géis foi realizada usando um reómetro de tensão controlada (Haake, RS-300, Alemanha), acoplado a um sistema UTC Peltier de controlo de temperatura.

3.3.3.1.Testes oscilatórios

Realizaram-se testes com pequenas amplitudes de oscilação (SAOS), na zona viscoelástica linear, para caracterizar o processo de gelificação da farinha de chia, com um sistema sensor de pratos paralelos serrilhados (PP 35S), com gap de 1 mm (previamente otimizado).

As suspensões de farinha de chia, após o processo de hidratação durante 30 min, à temperatura ambiente, foram transferidas para a placa do reómetro, realizando-se a gelificação *in situ*. As margens das amostras foram cobertas com parafina líquida, de modo a evitar perdas de água por evaporação.

Para cada formulação realizou-se a seguinte sequência de testes:

- 1) **Varrimento em temperatura** (aquecimento): efetuou-se o aquecimento da amostra de 20 a 90°C, a uma taxa de 2°C/min, com uma frequência de oscilação de 1 Hz e uma tensão de 1Pa (contida na zona viscoelástica linear, previamente testada), tendo-se registado os módulos elástico (G') e viscoso (G'') em função da temperatura.
- 2) **Desnaturação**: a amostra foi mantida a 90°C durante 30 min ou 10 min, registando-se as funções viscoelásticas ao longo do tempo.
- 3) **Varrimento em temperatura** (arrefecimento): As amostras foram arrefecidas até 5°C, tendo sido utilizadas três velocidades de arrefecimento diferentes - 0,5°C/min, 2°C/min e 5°C/min – à frequência constante de 1Hz, com uma tensão aplicada de 1Pa.
- 4) **Cinética de maturação**: o desenvolvimento da estrutura do gel, até se atingir o estado de equilíbrio foi acompanhado através de testes oscilatórios de **varrimento em tempo** a $5\pm 2^\circ\text{C}$, com uma tensão de 5Pa, durante 120 min para assegurar a maturação do gel, à frequência constante de 1Hz.
- 5) **Espectros mecânicos**: após o período de maturação do gel, foram realizados testes de **varrimento em frequência** a $5\pm 2^\circ\text{C}$, no intervalo de frequência de 0,01 a 150 rad/s, com uma tensão contida na zona viscoelástica linear dos géis (10 Pa), registando-se os valores de G' e G'' em função da frequência.

3.3.3.2. Avaliação da viscosidade

As determinações da viscosidade aparente foram realizadas com um sistema de pratos paralelos serrilhados (PP 20S), com gap de 1 mm (previamente otimizado).

Este teste em regime estacionário consistiu na aplicação de uma taxa de deformação - 0,001Pa a 1000Pa – às amostras de géis com farinha de chia a uma temperatura de 25°C, obtendo-se assim as curvas de escoamento (representação da tensão em função da taxa de deformação) e de viscosidade (representação da viscosidade em função da taxa de deformação). Os ensaios foram realizados pelo menos em triplicado.

3.4.Desenvolvimento dos produtos finais com farinha de chia

A partir das condições experimentais otimizadas para a produção de géis de farinha de chia com adição de farinha de arroz, açúcar e sal, desenvolveram-se propostas culinárias - três doces e duas salgadas -, cujas receitas se encontram resumidas no Quadro 8.

Quadro 8 - Matriz de planeamento experimental para o estudo do efeito das farinhas de chia e de arroz nas propriedades gelificantes.

	Preparados Doces			Preparados Salgados	
Ingredientes	Recheio para bombons de chocolate	Pudim de banana	Mousse de chocolate	Molho para massa	Esparregado de favas
Farinha de chia	5%	5%	7%	6%	2%
Farinha de arroz	-	-	-	-	2%
Mel	-	3%	3%	-	-
Leite	-	31%	-	-	-
Leite de coco	-	-	35%	-	-
Puré de banana	-	61%	-	-	-
Chocolate em pó	-	-	55%	-	-
Doce de frutos silvestres	95%	-	-	-	-
Alho e cebola (picados)	-	-	-	35%	-
Puré de favas	-	-	-	-	95%
Molho de tomate	-	-	-	59%	-
Especiarias e Sal (NaCl)	-	-	-	a gosto	a gosto
Vinagre	-	-	-	-	1%

Para cada um dos produtos desenvolvidos foram misturados os respetivos ingredientes e quantidades, sendo posteriormente sujeitos a um aquecimento de 90°C durante 30min. De seguida, após arrefecimento à temperatura ambiente, todos os produtos foram colocados num frigorífico a 4°C.

3.5. Avaliação da análise sensorial

A análise sensorial das receitas desenvolvidas (Quadro 8) foi efetuada através de um teste hedónico utilizando a classificação de uma escala hedónica semi-discriminada (Intitute of food technologists, 1981)

Recorreu-se a um painel de 26 provadores não treinados para a avaliação dos produtos desenvolvidos, através de uma folha de prova desenvolvida tendo por base a apreciação global dos produtos (Anexo). Esta prova sensorial foi realizada no Pavilhão do Conhecimento, na sequência do ciclo de seminários no âmbito da disciplina de seminários IV do mestrado de Ciências Gastronómicas. Os produtos para a prova foram preparados um dia antes da sua avaliação sensorial, para garantir a estabilização das estruturas gelificadas.

Para a realização da prova sensorial os produtos foram colocados em recipientes transparentes e codificados.

Antes da realização da prova, as receitas que requeriam aquecimento prévio – esparregado de favas e molho para massa - foram aquecidos num micro-ondas.

3.6. Análise estatística

Todos os tratamentos estatísticos foram realizados com recurso ao *software* SPSS Statistics (v.20, IBM SPSS Statistics, New York, EUA). Efetuaram-se comparações de médias através da análise de variância (*one-way* ANOVA) ou *t-student* com um intervalo de confiança de 95%, e sempre que existiam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias foi aplicado o teste *post hoc* de Scheffé.

Quando não se verificavam os pressupostos para aplicação da análise de variância, nomeadamente a normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene) foram efetuadas as alternativas não paramétricas – teste de Kruskal-Wallis e teste de Mann-Whitney, respetivamente.

4. Resultados e Discussão

4.1 Caracterização físico-química da farinha de chia

4.1.1. Composição nutricional da farinha de chia

A caracterização físico-química das farinhas de chia utilizadas foi realizada de acordo com os métodos descritos no Capítulo 3.2. Os resultados obtidos, em termos de percentagem da composição nutricional (gordura total, proteína, cinza, humidade, hidratos de carbono, fibra insolúvel e fibra solúvel) estão resumidos na Figura 24.

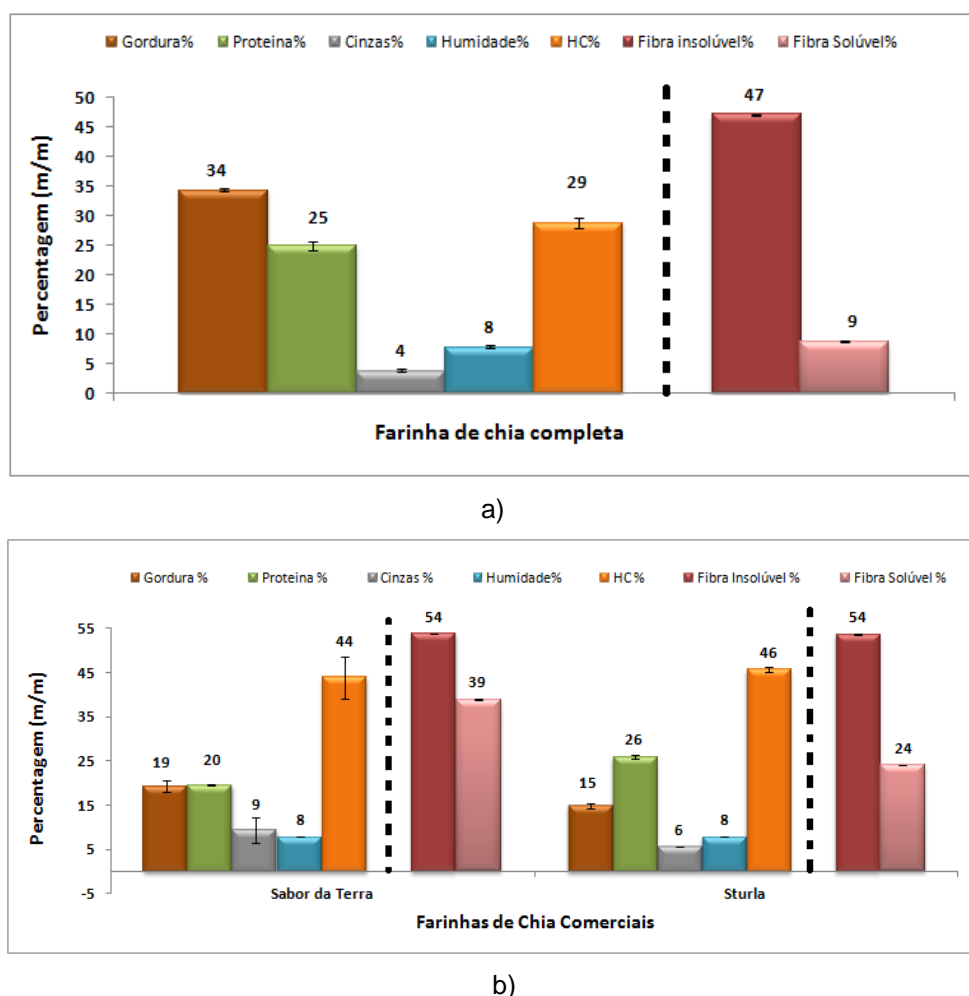


Figura 24 – Composição química de três farinhas de chia - a) farinha de chia obtida a partir de sementes “Midzu” trituradas sem desengorduramento (completa); b) farinhas comerciais (“Sabor da Terra” – não desengordurada e “Sturla” – desengordurada); (HC – Hidratos de carbono).

A partir dos resultados da Figura 24 evidencia-se a existência de diferenças nas composições nutricionais de cada uma das farinhas de chia estudadas. Este facto será consequência das diferentes origens geográficas das sementes de chia que lhes deram origem, bem como dos

diferentes fatores de produção, tais como a temperatura, a luminosidade e o tipo de solo. A dependência da composição da farinha de chia destes fatores, como referido, foi já descrita por outros autores (Ayerza e Coates, 2004).

Outro aspeto a referir é o facto de as farinhas utilizadas não terem igual proporção de sementes brancas e pretas. Como já foi mencionado, estas sementes têm composição físico-química distinta quando produzidas em locais diferentes, a que se associam aptidões tecnológicas também diferentes (Ayerza e Coates, 1997; Ixtaina *et al.*, 2006). Farinhas de chia que são comercializadas como desengorduradas, por exemplo a “Sturla”, são submetidas a processos de extração de óleo. Tal intervenção também influencia a composição química da farinha.

Apesar das diferenças registadas na composição química das três farinhas, verificou-se que para todas as amostras, os teores mais elevados em cada uma delas, foram os da gordura total, proteína e hidratos de carbono. Verifica-se ainda que para as farinhas comerciais o teor de hidratos de carbono é o mais elevado e para a farinha de chia “Midzu” este corresponde ao de gordura total. Salientando o facto das farinhas de chia serem provenientes de diferentes locais, verifica-se que os valores obtidos são da ordem de grandeza de outros descritos (Vazquez-Ovando *et al.*, (2010).

Em todos os casos, a fração de fibra insolúvel é mais elevada que a da fibra solúvel, resultante da elevada percentagem de pectinas insolúveis, celulose, hemicelulose e lenhina, que já foram descritos por outros autores (Vazquez-Ovando *et al.*, 2009; Capitani *et al.*, 2012) como sendo os principais constituinte da fração de fibra da chia.

Muito embora não tenha sido caracterizada a fração lipídica das amostras de chia, deve referir-se que cerca de 70% do teor de gordura é composta por ácidos gordos maioritariamente do tipo ómega3 (Ayerza e Coates, 2004; Segura-Campos *et al.*, 2012). Assim, para o caso das amostras estudadas, teríamos teores de ómega3 da ordem de 24% para a farinha não desengordurada utilizada no presente trabalho, de 14% para a farinha “Sabor da Terra” e de 10% para a farinha “Sturla” (desengordurada). Caso valores desta ordem de grandeza se confirmem, revelam o elevado potencial da farinha de chia como ingrediente rico em ácidos gordos do tipo ómega3, o que constitui um importante benefício para a saúde.

4.1.2.Índice de solubilidade e índice de absorção de água

Considerando a elevada capacidade de retenção de água das sementes de chia e da respetiva farinha, a qual contribui de modo determinante para a formação de estruturas gelificadas, avaliou-se o índice de solubilidade (IS) e o índice de absorção de água (IAA) das farinhas estudadas. Estes índices constituem parâmetros indicativos das interações dos constituintes da farinha com as moléculas de água (Munoz *et al.*, 2012 (b)), tendo sido efetuado a diversas temperaturas, dado o efeito da temperatura na absorção de água pelos alimentos ser bastante

importante, e ainda pelo facto destes poderem ser expostos durante o seu armazenamento e processamento a diferentes gamas de temperatura (Moreira, R., *et al.*, 2012).

De acordo com a Figura 25 verifica-se que até 50°C o índice de absorção de água não apresenta diferenças significativas para as diferentes temperaturas estudadas. Este resultado está em concordância com os valores do índice de solubilidade, pois também se verifica que a solubilidade da farinha de chia não apresenta diferenças significativas para valores de temperatura no mesmo intervalo (inferior a 90°C). Outros autores (Silva e Silva, 2005; Zavareze *et al.*, 2009) também verificaram que o aumento da temperatura, em diversos amidos, influencia a capacidade de absorção de água e consequentemente a solubilidade dos mesmos.

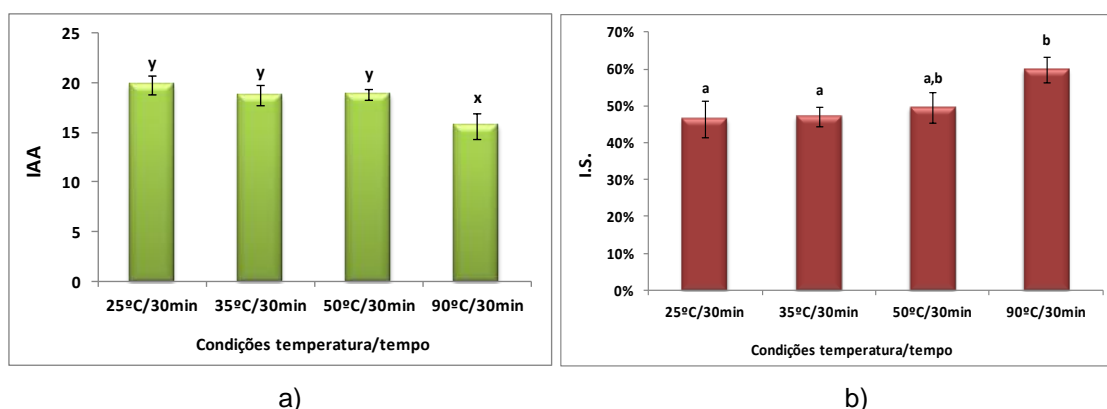


Figura 25 - IAA (índice de absorção de água) – (a) e I.S. (índice de solubilidade) – (b) da farinha de chia, estudados a quatro temperaturas diferentes (25, 35, 50 e 90°C) com uma duração de 30min.

4.2. Formação de géis de chia - efeito da concentração de farinha

Atendendo à reconhecida capacidade gelificante das sementes e farinha de chia, procedeu-se a uma série de estudos preliminares para determinar qual a concentração crítica de gelificação da respetiva farinha. A avaliação da concentração crítica foi efetuada tendo em conta o aspeto visual dos géis formados após 24 horas de preparação, bem como as suas características de textura. Não se fez avaliação desse processo de gelificação através de técnicas reológicas, pois o objetivo final do trabalho é o estudo da produção de géis que permitam desenvolver bases para novas aplicações culinárias e com estrutura gelificantes estruturadas. Inicialmente analisou-se a textura dos géis de farinha de chia “Midzu” com concentrações de 1,4,6 e 10% (m/m). Uma vez que a baixas concentrações de farinha de chia não se consegue obter géis capazes de formar uma rede gelificante bem estruturada, foi necessário testar concentrações mais elevadas (12, 13 e 15% (m/m)). Apenas foi possível obter géis com características mensuráveis em termos de avaliação de textura para concentrações de farinha de chia iguais ou superiores a 12% (m/m).

4.2.1. Avaliação de textura

A avaliação das propriedades de textura, como referido na secção 3.3.2.2., dos géis de farinha de chia com teores de 12, 13 e 15% (m/m), submetidos a processamento térmico a 50 e 90°C, durante 30 min. podem ser avaliadas a partir das Figuras 26 e 27.

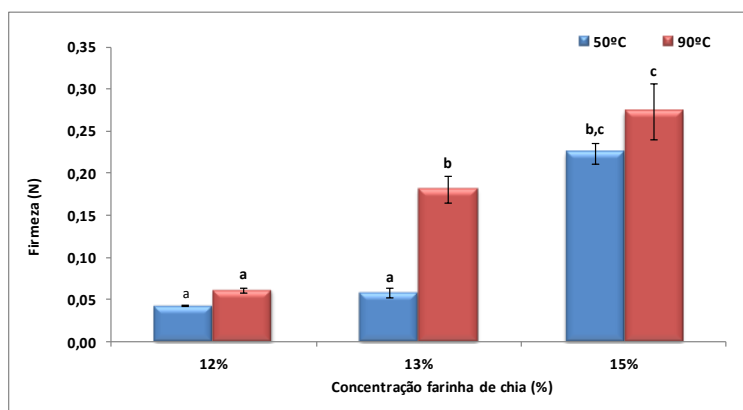


Figura 26 - Variação da firmeza de géis, preparados a 50 e 90°C durante 30 min., em função da concentração de farinha de chia.

Para uma temperatura de gelificação de 50°C, apenas se regista um aumento significativo da firmeza para um teor de farinha de 15% (m/m). No entanto, para um tratamento idêntico (30 min.) a 90°C, observa-se um aumento gradual e significativo da firmeza com a concentração de farinha, desde 12 a 15% (m/m).

Verificou-se ainda que para as concentrações de 13% (m/m) de farinha de chia, os géis preparados a 90°C apresentam-se significativamente ($p < 0,05$) mais firmes do que os obtidos a 50°C. Os mesmos resultados não se verificam para as concentrações de 12% (m/m) e 15% (m/m).

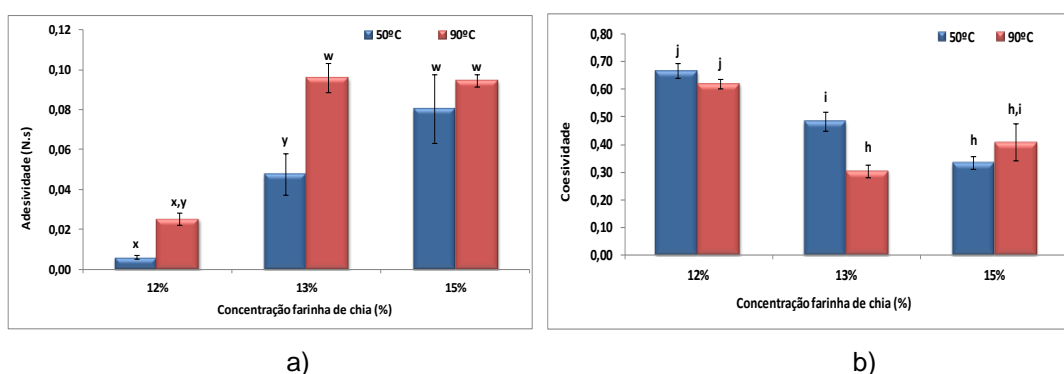


Figura 27 - Adesividade (a) e coesividade (b) de géis com 12, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia, preparados a 50 e 90°C, durante 30 min.

Dos dados apresentados na Figura 27 verifica-se que a 50°C há um aumento significativo ($p < 0,05$) da adesividade para todas as concentrações estudadas, enquanto que a 90°C esse aumento apenas foi significativo de 12% (m/m) para 13% (m/m). Observa-se ainda que nas

amostras com 13% (m/m) de farinha de chia os géis preparados a 90°C apresentam uma adesividade significativamente superior do que aos preparados a 50°C.

Em relação à coesividade verifica-se uma diminuição significativa deste parâmetro nos géis de 12% para 13% (m/m) preparados a ambas as temperaturas, e nos géis de 13% para 15% submetidos ao processamento térmico a 50°C.

De acordo com os resultados obtidos, para géis preparados com um tratamento térmico a 90°C durante 30 minutos, 13% de farinha de chia parece ser a concentração mais eficaz para a formação do gel. Serão essas as condições que permitem a formação de uma malha de gel estruturada e estável com características de textura semelhantes a outros géis comerciais (Nunes, *et al.*, 2002).

4.2.2. Avaliação de viscosidade

Os géis de farinha de chia “Midzu” formados nas condições mais favoráveis (13% (m/m) de farinha, 90°C durante 30 min.) apresentam ainda assim um nível de estruturação diminuto, que se caracteriza por valores de firmeza da ordem dos 0,16N, mas com uma adesividade considerável (0,10N.s). Atendendo a estas características específicas, procedeu-se à avaliação de viscosidade dos géis, muito embora este parâmetro nem sempre seja utilizado para a caracterização de géis, já que é difícil assumir o escoamento de uma estrutura de gel.

Atendendo a que a avaliação da viscosidade é possível mesmo para géis muito pouco estruturados, avaliou-se a viscosidade dos géis preparados com concentrações de farinha de chia a partir dos 6% (m/m) (Figura 28), após serem sujeitas a um tratamento térmico de 50°C (a) ou 90°C (b), durante 30 min. A análise das curvas de viscosidade foi efetuada apenas em termos qualitativos, não se tendo realizado o ajuste de nenhum modelo reológico para a determinação de η_0 e η_∞ .

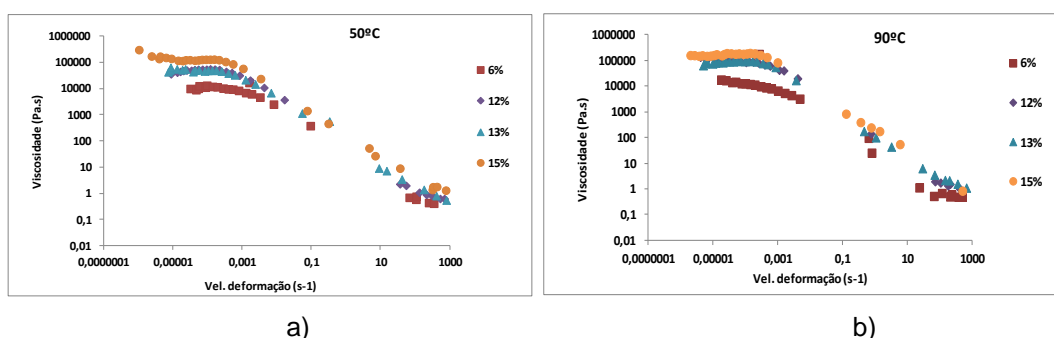


Figura 28 - Curvas de viscosidade dos géis com 6, 12, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia preparados a 50°C (a) e 90°C (b) com duração de 30 min.

A partir dos dados das Figura 28 a) e b), verifica-se que todos os géis estudados apresentam um comportamento reofluidificante, isto é, para baixas taxas de deformação observa-se uma zona Newtoniana (η_0), enquanto que para taxas de deformação elevadas, a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação aumenta. Verifica-se que para ambas as temperaturas (50° e 90°C), a viscosidade limite (η_0), extrapolada a partir do primeiro patamar Newtoniano, aumenta com a concentração de farinha de chia. Este facto resulta de uma maior complexidade e grau de estruturação do gel com a incorporação de um teor mais elevado de farinha de chia. A presença de uma maior concentração de substâncias gelificantes (proteínas e polissacáridos), origina géis mais estruturados e consequentemente com uma maior resistência ao escoamento. Estes resultados estão em concordância com os observados pela avaliação de textura dos mesmos géis (Figuras 26 e 27). Outros autores (Nunes, 2005; Tomé, 2012) também verificaram que o aumento da concentração de proteínas e de polissacáridos contribui para a estruturação dos géis e consequentemente para valores mais elevados da viscosidade limite.

4.2.3.Determinação dos parâmetros da cor

Atendendo a que a farinha de chia apresenta uma coloração escura e variável em função da sua composição (quantidades de sementes brancas e pretas), é importante avaliar o impacto do aumento do teor de farinha na cor final dos produtos. Concentrações que possam ser ótimas do ponto de vista tecnológico podem originar géis com colorações pouco apetecíveis em termos de desenvolvimento de novas aplicações culinárias.

Dos dados apresentados na Figura 29 verifica-se que L^* é significativamente mais elevado (amostra mais clara) nas amostras com 6% (m/m) de farinha de chia. Para concentrações superiores não se detetam diferenças apreciáveis deste parâmetro. Ou seja, para a gama de concentrações a partir de 6% (m/m) de farinha de chia, os géis apresentam uma cor mais escura, mas que não é significativamente ($p < 0,05$) alterada pelo aumento dos níveis de incorporação.

Em relação à avaliação de a^* verifica-se que este parâmetro não discrimina as amostras com diferentes concentrações de chia – os valores não apresentam diferenças significativas para todas as concentrações estudadas. Estes valores são positivos, variando entre 3,30 e 4,09, o que corresponde a uma tonalidade na zona dos vermelhos.

Analisando o parâmetro b^* , verifica-se que nos géis com 6% (m/m) de farinha chia preparados às duas temperaturas estudadas, este é significativamente superior ao verificado para as restantes concentrações (que não apresentam diferenças significativas entre si), o que corresponde a uma componente amarela mais acentuada e que conjugada com os valores mais elevados de L^* corrobora o facto de apenas a 6% (m/m) de concentração os géis terem tonalidades mais claras.

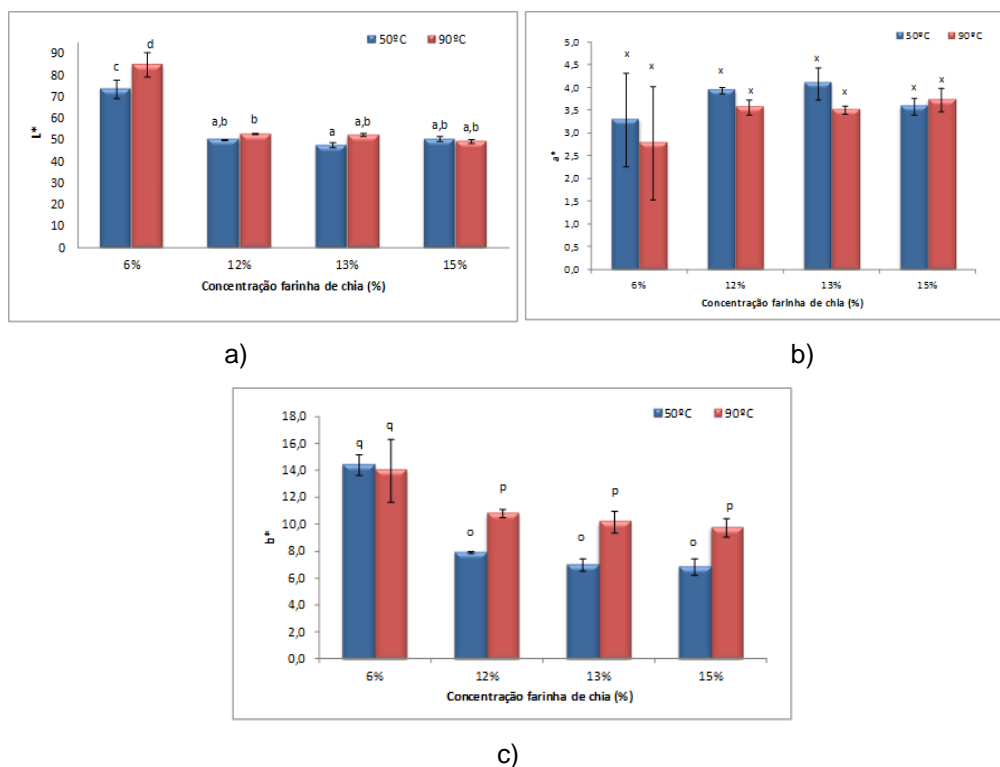
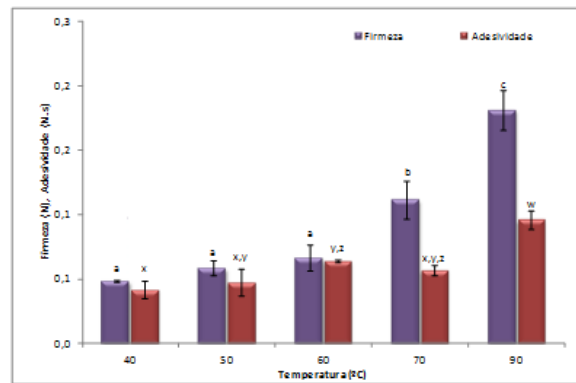


Figura 29 - Variação dos parâmetros de cor – L* (a), a* (b) e b* (c) de géis de farinha de chia com concentrações (entre 6 e 15%) preparados a 50 e 90°C durante 30 min.

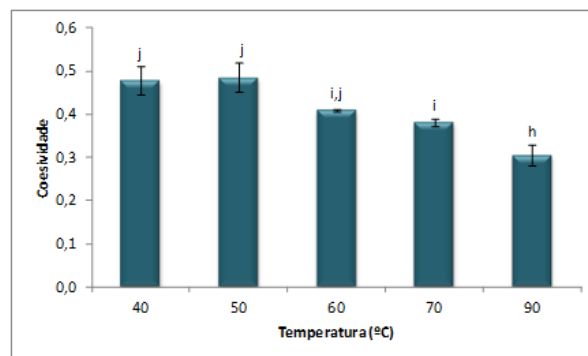
4.3. Efeito da temperatura e do tempo de desnaturação nas propriedades físicas dos géis de farinha de chia

No trabalho referido na secção 4.2. estudaram-se apenas duas temperaturas de desnaturação (50 e 90°C) aplicadas durante 30 min. No entanto, diversos estudos (Ferry, 1948; Arntfield *et al.*, 1986; Batista *et al.*, 2005) salientam a importância de se otimizar o binómio tempo/temperatura, no sentido de promover uma melhor estruturação final do gel.

Considerando a concentração de farinha de chia de 13% (m/m) avaliou-se o impacto da **temperatura de desnaturação** - intervalo de 40 a 90°C, aplicada durante 30 min na textura dos géis. Os resultados obtidos, em termos de firmeza, adesividade e coesividade estão resumidos na Figura 30.



a)



b)

Figura 30 - Firmeza e adesividade (a) e coesividade (b) de géis de chia com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a várias temperaturas (40, 50, 60, 70 e 90°C) durante 30 min.

Da Figura 30 verifica-se que os géis preparados a 70 e 90°C apresentam uma firmeza significativamente superior aos preparados a temperaturas mais baixas. Em relação à adesividade, o gel preparado a 90°C é o que apresenta um valor significativamente mais elevado ($p < 0,05$). Relativamente à coesividade verifica-se que os géis preparados a 90°C apresentam um valor significativamente mais baixo ($p < 0,05$) do que os preparados a temperaturas inferiores.

Ferry (1948), Arntfield *et al.*, (1986) e Batista *et al.*, (2005), referem que existe uma certa dependência entre os parâmetros de textura e a temperatura. O que faz com que o aumento de temperatura dê origem a um maior grau de desenrolamento das moléculas proteicas e a formação de estruturas ordenadas ou zonas de junção por parte dos polissacáridos (Vries, 2004) que levam à consequente exposição de um maior número de grupos hidrofóbicos, refletindo-se no aumento dos valores de firmeza e de adesividade dos géis.

Na Figura 31 representa-se a variação dos parâmetros de textura avaliados em função da temperatura, sugerindo-se um comportamento regular entre essas variáveis. Em termos de aplicações práticas, o ajuste de uma correlação aos dados obtidos pode ser importante para a previsão do comportamento das suspensões tratadas a temperaturas distintas das estudadas. Assim, na Figura 31 representam-se os ajustes da função exponencial a cada uma das

propriedades de textura avaliadas em função da temperatura, sugerindo que o fenômeno em causa segue a Lei geral de Arrhenius (Buleon, A. e Colonna, P., 2007), verificando-se $r^2 > 0,9$ para os três parâmetros. A firmeza e a adesividade apresentam um crescimento exponencial com a temperatura e em oposição, a coesividade decresce exponencialmente.

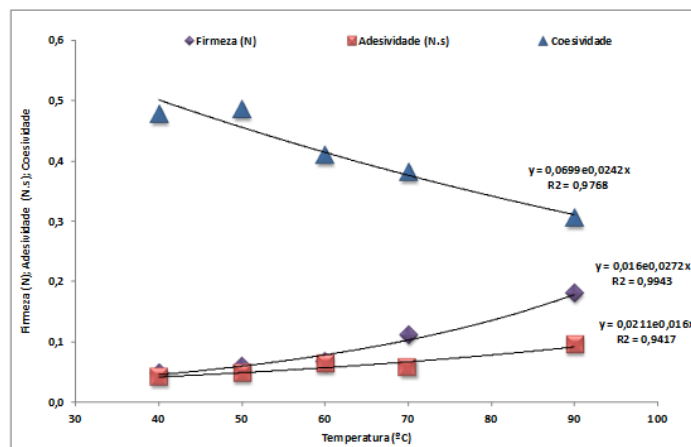


Figura 31 - Variação da firmeza, adesividade e coesividade em função da temperatura – representação do andamento exponencial respetivo.

Tendo em conta as condições experimentais estudadas e considerando o tipo de estrutura que se pretende obter para aplicações culinárias futuras, a temperatura de 90°C parece ser a mais adequada ao processo de gelificação da farinha de chia. Considerando esta temperatura, avaliou-se o efeito de três **tempos de desnaturação** – 10, 30 e 60min nas propriedades físicas dos géis (Figura 32). Verifica-se que os géis obtidos a partir de farinha de chia “Midzu” tratada a **90°C durante 30 minutos** apresentam uma firmeza significativamente superior ($p < 0,05$) aos preparados com os tempos de 10 e 60 minutos. Relativamente à adesividade, os géis preparados a 90°C durante 30 e 60 min apresentam um valor significativamente mais elevado ($p < 0,05$) do que os preparados a 10 min. Em relação à coesividade, verifica-se uma redução significativa deste parâmetro ($p < 0,05$) quando se passa de 10min para 30 min de desnaturação, não havendo diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tempos, 30 e 60 minutos.

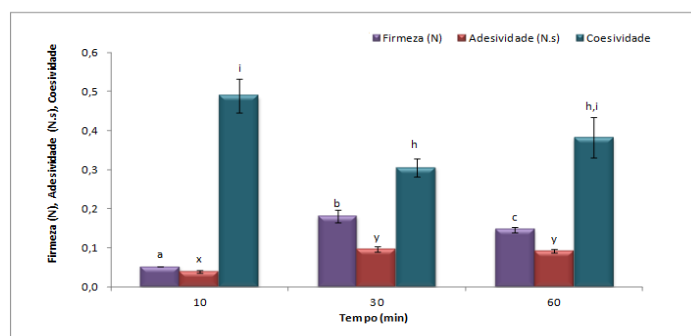


Figura 32 - Firmeza, adesividade e coesividade de géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a 90°C com diferentes tempos de desnaturação (10, 30 e 60 min.).

Dos resultados anteriores conclui-se que para concentrações de 13% (m/m) de farinha de chia, e considerando um tratamento térmico de 90°C, o tempo de aquecimento de 30 min parece ser o mais indicado para obter estruturas típicas de um gel adaptado aos objetivos em causa. Nestas condições obtém-se uma firmeza mais elevada, não havendo diferença significativa entre a coesividade e a adesividade para este tempo e 60 min. Desse modo, um tempo de tratamento inferior (30 min) permitirá uma maior rapidez nas preparações culinárias, um menor custo energético e uma menor degradação das propriedades nutricionais da farinha de chia. Estas condições, além de permitirem obter géis com elevado potencial de aplicação culinária, têm ainda a vantagem de permitirem simultaneamente uma estabilização microbiana das amostras, muito embora esse efeito não tenha sido estudado no âmbito do presente trabalho.

Para complementar os resultados obtidos em termos de textura, avaliou-se a **viscosidade dos géis** envolvidos no estudo da otimização da desnaturação térmica.

De acordo com as curvas de viscosidade representadas nas Figuras 33 a) e b), todos os géis estudados apresentam um comportamento reofluidificante. Verifica-se que o primeiro patamar Newtoniano, para diferentes temperaturas e diferentes tempos, apresenta valores de η_0 idênticos, existindo apenas um ligeiro aumento desse parâmetro para as condições extremas de temperaturas e tempos de desnaturação. Este facto resulta do impacto da temperatura de desnaturação sobre o grau de estruturação do gel. Com o aumento gradual de temperatura, as macromoléculas e o meio envolvente têm necessidade de interagirem e libertarem energia, formando-se ligações entre elas (Araújo, *et al.*, 2011). Daí que quanto maior for o fornecimento de energia térmica (tempo e temperatura) mais resistente será a estrutura do gel, apresentando assim uma maior resistência ao escoamento. Estes resultados estão em concordância com os observados para a avaliação de textura dos mesmos géis (representados nas Figuras 30 e 32). Bhattacharya (1997) também verificou que as características do binómio tempo/temperatura contribuem para a estruturação dos géis e consequentemente para valores mais elevados da viscosidade limite.

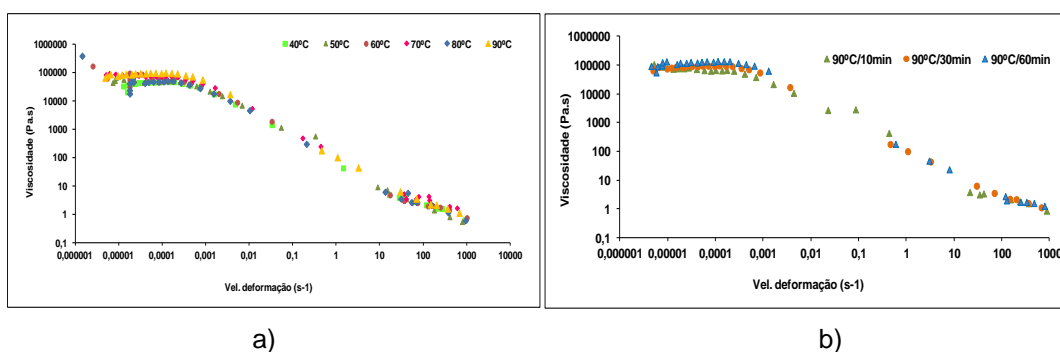


Figura 33 - Curvas de viscosidade dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” obtidos a diferentes temperaturas (a) e tempos de desnaturação (b).

Prevendo a possibilidade de diferentes condições de tratamento térmico poderem implicar alterações de cor apreciáveis nos géis, nomeadamente através da formação de reações de Maillard ou de outras reações de escurecimento, como a caramelização (Belitz e Grosch, 1992), avaliou-se a variação dos **parâmetros de cor** para as diferentes condições experimentais estudadas (Figuras 34 (a) (b)).

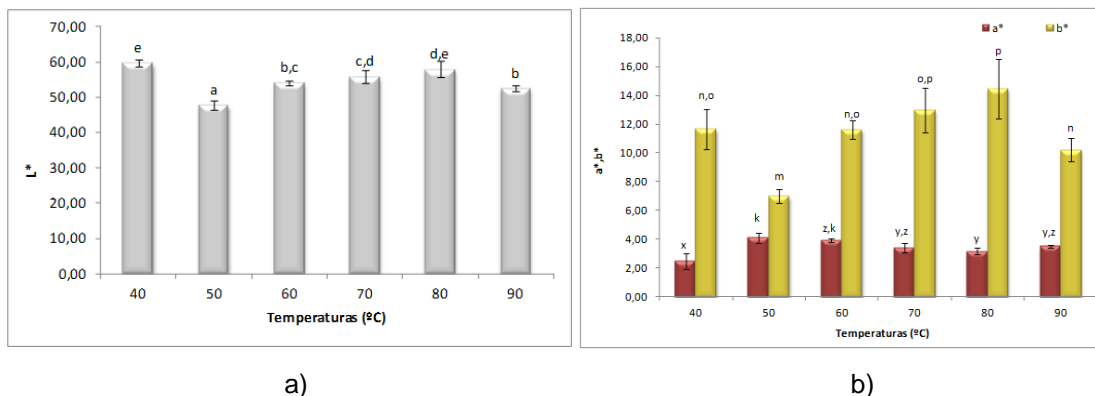


Figura 34 - Parâmetros de cor – L*(a), a* e b* (b) de géis de farinha de chia “Midzu” (13% (m/m) preparados a várias temperaturas (40, 50, 60, 70, 80, 90 °C) com duração de 30 min.

O parâmetro L* poderia dar conta do escurecimento das amostras em função da severidade dos tratamentos térmicos aplicados. Contudo, verifica-se apenas que o valor significativamente mais reduzido refere-se à amostra tratada a 50°C durante 30 min, não existindo por isso uma relação com uma possível degradação da cor como consequência do tratamento térmico. Por outro lado, verifica-se que os valores mais elevados de L* referem-se às amostras tratadas a 40 e a 80°C, o que mais uma vez não se relaciona com a severidade do tratamento aplicado. Deste modo, não é possível concluir que os tratamentos térmicos que conduziram ao processo de gelificação tenham induzido alterações apreciáveis na componente L* da cor.

Em relação a a* verifica-se que a amostra preparada a 40°C apresenta um valor significativamente inferior a todas as outras, observando-se ainda que a* tem tendência para valores mais elevados a temperaturas mais altas, o que corresponde a um ligeiro aumento da componente vermelha, podendo ser um indicador de uma ligeira degradação da cor.

Tal como se verificou para L*, apenas a 50°C existe um valor significativamente diferente de b*, o que também não se relacionará com nenhuma alteração da cor resultante do tratamento térmico aplicado.

No que se refere ao **efeito do tempo de tratamento** a 90°C descritos nos parâmetros de **cor dos géis** de farinha de chia 13% (m/m), dos dados da Figura 35 (a) e (b) verifica-se que L* dos géis preparados com 10 minutos de aquecimento apresentam um valor significativamente superior aos géis preparados com aquecimentos durante 30 e 60 minutos. Verificando-se portanto uma tonalidade mais clara dos géis com menor tempo de desnaturação. Tal facto poderá indicar uma possível degradação da cor da matéria-prima quando sujeita a tratamentos térmicos mais prolongados, revelada por valores de L* menores.

Relativamente aos parâmetros a^* e b^* , os géis preparados a 90°C/30 min, apresentam um valor significativamente inferior ($p < 0,05$) aos preparados a 10 e 60 min. Tal facto não se explicará pela existência de uma relação entre a degradação da cor e a severidade do tratamento térmico.

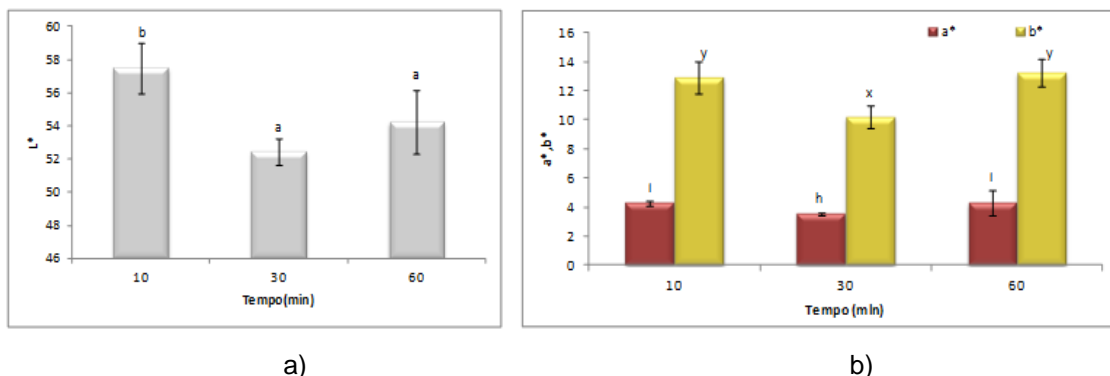


Figura 35 - Variação dos parâmetros de cor – L^* (a), a^* e b^* (b) de géis com 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” preparados a 90°C com duração de 10, 30 e 60min.

De acordo com os parâmetros de cor analisados (L^* , a^* e b^*) verifica-se que o tempo e a temperatura do tratamento térmico, dentro do intervalo de condições estudadas não têm um impacto determinante na coloração final dos géis, muito embora tempos mais elevados (a 90°C) possam estar associados a colorações ligeiramente mais escuras. Deste modo, a cor não será um parâmetro determinante para a seleção das condições de trabalho a utilizar para a produção de géis a partir de farinha de chia.

4.4. Efeito das condições de gelificação na estrutura dos géis – caracterização reológica

4.4.1. Efeito da concentração da farinha de chia

O efeito da concentração da farinha de chia “Midzu” nas características reológicas dos respetivos géis foi estudado de acordo com a sequência de testes descrita na secção 3.3.3.1.

Varrimento em temperatura (aquecimento)

Na Figura 36 estão representadas as curvas de aquecimento das suspensões de farinha de chia com diferentes concentrações.

Em todos os casos verifica-se que a componente elástica (G') é sempre superior à componente viscosa (G''), no intervalo de temperaturas estudado. Mesmo no início do aquecimento, a 20°C, tal comportamento já é evidente. Assim, poderá afirmar-se que a hidratação prévia da suspensão (30 min. a 20°C) originou logo a formação de uma estrutura tipo gel. Deste modo, nas condições estudadas, não é possível encontrar a temperatura de gelificação, para nenhuma das concentrações, de acordo com o procedimento referido por Winter e Chamban (1986).

Salienta-se o facto de que para concentrações mais elevadas de farinha de chia (13% (m/m) e 15% (m/m)) existir um aumento considerável dos módulos viscoelásticos, especialmente importante para elevadas temperaturas. Tal aumento deverá resultar de uma maior incorporação de moléculas de polissacáridos e de proteínas na malha do gel, que com o aumento do grau de desnaturação originam a formação de um maior número de zonas de junção e mais fortes (Verheul *et al.*, 1998; Mellema *et al.*, 2002; Renkema e Van Vliet, 2002).

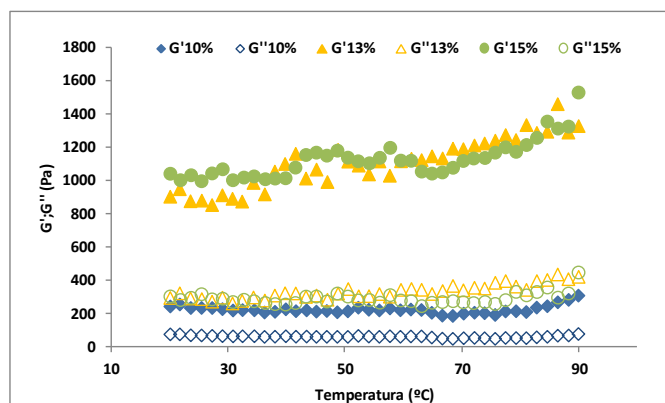


Figura 36 – Curvas de aquecimento de 20°C a 90°C (2°C/min) das suspensões de farinha de chia com 10,13 e 15% (m/m).

Desnaturação 90°C/30 min

Na Figura 37 estão representadas as curvas correspondentes aos módulos viscoelásticos em função do tempo de desnaturação dos diferentes sistemas à temperatura de 90°C. Com o objetivo de poder simular uma preparação culinária, o tempo de desnaturação predefinido para o teste foi de 30min

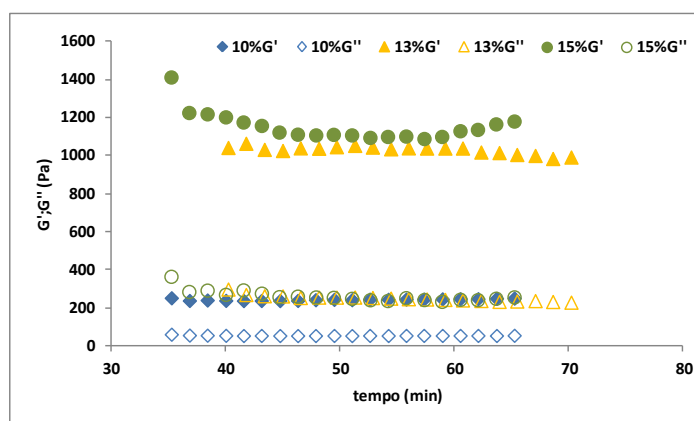


Figura 37 - Curvas de desnaturação para diferentes concentrações de chia, obtidas a 90°C durante 30 minutos.

Comparando os perfis de evolução dos módulos viscoelásticos, observa-se de um modo geral que para todas as concentrações, o módulo G' é sempre superior ao módulo G'' , o que aliás aconteceu desde o início do estudo. O sistema com 10% (m/m) de farinha de chia revela uma constância acentuada dos valores de G' e G'' . Tal significa que para esta concentração será necessário um tempo mínimo para que haja a formação da rede de gel, após o aquecimento de 20 a 90°C. Por outro lado, para concentrações superiores (13 e 15% (m/m)), G' apresenta uma variação apreciável ao longo dos 30 minutos de desnaturação. Especialmente no caso do sistema com 15% (m/m) de farinha de chia, que revela oscilações consideráveis de G' e G'' . Nesse caso, poderia ser necessário prolongar o tempo tratamento térmico. No caso que pretendemos potenciar, em termos de aplicação culinária (13% de farinha de chia) os primeiros 30 minutos de desnaturação correspondem a um patamar na variação de G' e G'' com o tempo. Este dado corrobora os resultados já obtidos em termos de textura, que apontam que esse seja o tempo ideal para o processamento do gel. Este tempo a que o sistema está sujeito a elevada temperatura é fundamental para o estabelecimento das ligações entre as macromoléculas, especialmente para a formação de ligações de hidrogénio (Pomeranz, 1991; Monteiro *et al.*, 2005), que serão determinantes para as propriedades finais do gel e para a sua estabilidade.

Varrimento em temperatura (arrefecimento)

Para os ensaios de arrefecimento, determinou-se a evolução das propriedades viscoelásticas em função da temperatura de arrefecimento de 90°C para 5°C, a uma taxa de 2°C/min. Na Figura 38 verifica-se que para 13 e 15% (m/m) de farinha de chia G' e G'' aumentam drasticamente com a diminuição da temperatura, não se registando diferença apreciável para as duas concentrações. É evidente a existência de duas regiões com diferente dependência da temperatura, verificando-se um aumento abrupto de G' a cerca de 40°C. Estas duas fases podem estar associadas à incorporação na malha do gel de moléculas de características distintas, por exemplo, proteínas e polissacáridos, cuja dinâmica de organização tridimensional será distinta (Van Vliet *et al.*, 2002).

O aumento de G' traduz o aumento de rigidez do gel durante o arrefecimento resultante da formação de ligações intramoleculares, destacando-se destas as ligações de hidrogénio, entre os polissacáridos e outros constituintes (ex. proteínas) da farinha de chia, e entre estes e as moléculas de água (Muñoz *et al.*, (2012 (b))).

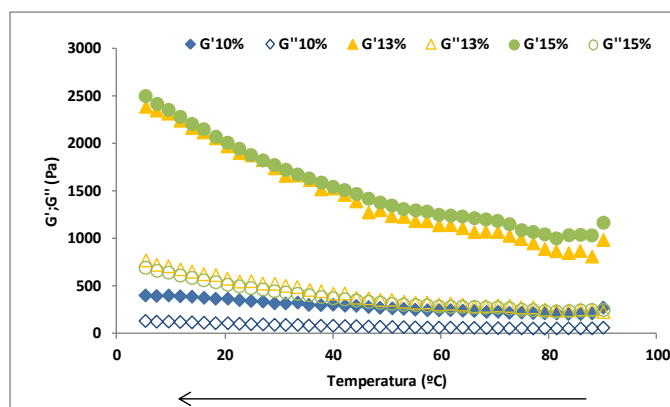


Figura 38 – Curvas de arrefecimento de 90°C a 5°C (2°C/min) dos sistemas de farinha de chia – 10, 13 e 15% (m/m).

Cinética de maturação

Analisando as cinéticas de maturação dos sistemas de farinha de chia com concentrações de 10, 13 e 15% (m/m) representados na Figura 39, verifica-se que em todos os casos o valor de G' se mantém praticamente constante ao longo dos 120 min de maturação. De acordo com as curvas de maturação dos géis está evidenciado que valores de G' são mais elevados para sistemas com maiores concentrações de farinha de chia.

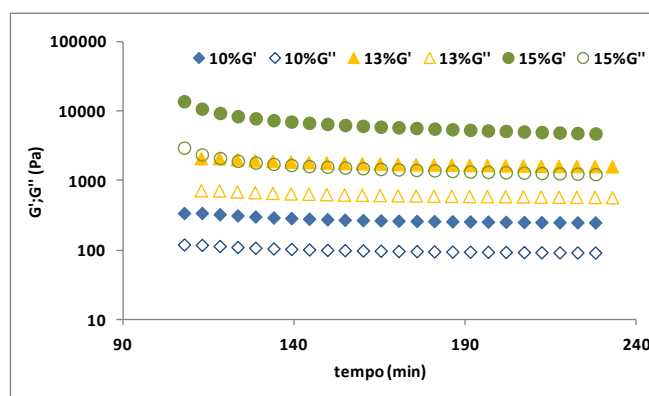


Figura 39 - Cinéticas de maturação a 5°C, durante 120min dos sistemas com 10, 13 e 15% (m/m) de farinha de chia.

As cinéticas de maturação apresentadas também permitem salientar que em termos práticos, após a formação dos géis, 40 minutos será o tempo necessário para que haja uma estabilização da estrutura, mesmo para a concentração mais elevada. Verifica-se que a partir desse tempo os valores das funções viscoelásticas se mantêm praticamente inalterados. Este dado é importante para a planificação das preparações culinárias, pois será esse o tempo de espera entre a preparação do gel e o atingir de uma estrutura estável. De salientar ainda que este tempo é relativamente baixo quando comparado com outros sistemas gelificantes, como

por exemplo o tempo de maturação de géis de proteínas vegetais que chegam a ser superiores a 20 horas (Nunes *et al.*, 2003).

Espetros mecânicos

Após a maturação a 5°C, os géis de farinha de chia foram submetidos a testes de varrimento em frequência. Analisando os espetros mecânicos apresentados na Figura 40, verifica-se que para todas as concentrações de farinha de chia os módulos de conservação (G') apresentam sempre valores superiores aos módulos de dissipação (G'') na gama de frequências utilizadas. Em todos os casos poderá assumir-se a existência de uma estrutura do tipo gel fraco, devido à dependência dos módulos viscoelásticos com a frequência (Farahnaky, *et al.*, 2010; Pires *et al.*, 2012). O aumento de G' e G'' com a concentração resultará da organização estrutural dos biopolímeros e suas ligações intermoleculares, contribuindo assim para géis mais firmes no caso de terem concentrações de farinha mais elevadas. Estes resultados estão de acordo com os verificados para a firmeza dos géis, muito embora a diferença entre o comportamento a 13 e 15% (m/m) de farinha de chia seja mais acentuado no caso dos espetros mecânicos. A partir dos resultados obtidos, também se pode concluir que G' e G'' tendem a assumir valores próximos à medida que a frequência aumenta – tendência para um eventual cruzamento a elevadas frequências de oscilação. Este facto também denota a tipologia de gel fraco.

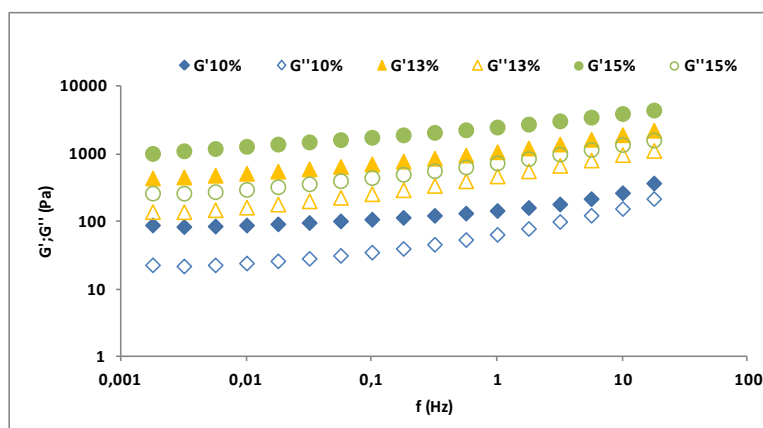


Figura 40 - Espetros mecânicos a 5°C de sistemas de farinha de chia com diferentes concentrações – 10, 13 e 15% (m/m).

Diversos autores (Thebaudin *et al.*, 1997) referem que a taxa de arrefecimento dos géis tem implicações diretas no seu nível de estruturação. Essa velocidade determina o modo como as moléculas se equilibram na malha do gel e podem mesmo ter implicações não só sensoriais e de textura mas também de estabilidade (Nunes, 2005).

Com o objetivo de otimizar o processo de arrefecimento dos géis de farinha de chia, avaliando o efeito da taxa de arrefecimento nas suas características finais, procedeu-se à sequência de testes anteriormente descritas para um sistema com 13% (m/m) de farinha de chia, tendo-se

efetuado o arrefecimento a 0,5°C/min, 2°C/min e 5°C/min. Os espectros mecânicos resultantes estão resumidos na Figura 41. Verifica-se que à medida que a taxa de arrefecimento aumenta, diminuem os valores de G' e G'' , o que corresponde a sistemas menos estruturados. No entanto, a forma das curvas é muito semelhante, o que significa que o processo de consolidação da malha do gel não é substancialmente alterado por este parâmetro (Moreira, *et al.*, 2013)

O tempo de arrefecimento tem uma relação direta com as ligações estruturais das moléculas dos sistemas gelificados, promovendo assim estruturas moleculares mais organizadas e com ligações mais estáveis, para processos de arrefecimento mais lentos.

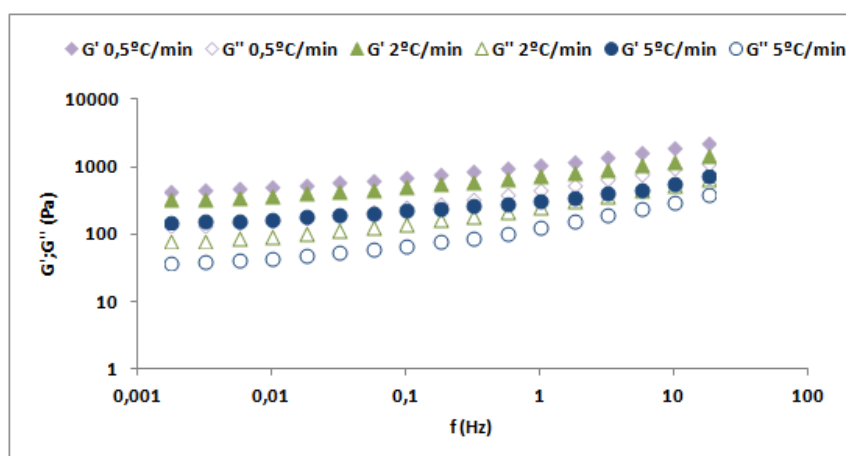


Figura 41 - Espectros mecânicos a 5°C de sistemas a 13% (m/m) de farinha de chia “Midzu” com diferentes taxas de arrefecimento - 0,5°C/min, 2°C/min e 5°C/min.

4.5. Géis de farinha de chia e farinha de arroz

Considerando a capacidade gelificante da farinha de arroz com outras farinhas (Torres, 2013), procedeu-se à preparação de géis de farinha de chia “Midzu” e farinha de arroz, avaliando assim as suas características físicas.

Através do planeamento experimental descrito na secção 3.3.1., recorreu-se à metodologia das superfícies de resposta (RSM) para assim se poderem obter possíveis correlações matemáticas que caracterizem a interação da farinha de chia com a farinha de arroz na formação de estruturas gelificadas.

No Quadro 9 encontram-se representados os resultados referentes às variáveis dependentes: parâmetros de textura – firmeza, adesividade e coesividade - e parâmetros de cor – L^* , a^* e b^* . As correlações matemáticas encontradas para cada variável dependente não apresentaram significância estatística. Deste modo, os resultados das avaliações de textura e cor foram comparados entre si, através da análise de variância (one-way ANOVA).

Analisando comparativamente os resultados de cada parâmetro, verifica-se que existem diferenças significativas entre os pontos da matriz para alguns níveis estudados. Em relação à

firmeza, um dos parâmetros mais importantes para caracterizar fisicamente o comportamento de um gel, foi efetuada uma comparação detalhada dos resultados (Figuras 42 e 43).

Relativamente aos parâmetros de cor dos géis, estes não apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$) para os diferentes pontos da matriz, uma vez que a farinha de arroz apresenta cor branca e a farinha de chia uma tonalidade um pouco acastanhada/acinzentada (devido à presença de sementes brancas e pretas na sua formulação), resultando sempre em géis com tonalidades na gama dos brancos acinzentados, praticamente idênticos a olho nu.

Quadro 9 - Variáveis dependentes resultantes do planeamento experimental utilizado no estudo dos géis com farinha de chia e farinha de arroz.

Pontos da Matriz	Parâmetros textura			Parâmetros cor		
	Firmeza	Adesividade	Coesividade	L*	a*	b*
(0; 1,414)	1,514	1,852	0,549	59,52	2,74	9,60
(-1;1)	1,334	2,745	0,570	60,44	2,69	9,76
(1;1)	1,862	2,064	0,514	58,35	2,94	9,72
(-1,414; 0)	1,281	1,408	0,491	60,08	2,23	9,27
(1,414;0)	1,802	1,702	0,461	58,83	2,75	9,77
(-1;-1)	0,676	1,273	0,519	57,80	2,77	9,50
(1; -1)	0,763	1,548	0,521	57,91	2,91	9,66
(0; -1,414)	0,307	0,575	0,528	58,13	2,76	10,22
(0;0)	1,479	1,623	0,510	59,51	2,37	9,51
(0;0)	1,452	1,500	0,483	58,76	2,71	9,23
(0;0)	1,552	1,528	0,499	58,72	2,40	7,70
(0;0)	1,452	1,562	0,511	56,22	2,64	8,68

Para avaliar a influência das variáveis independentes na textura, procedeu-se à comparação dos resultados da firmeza para os pontos da matriz, recorrendo à ANOVA, mantendo-se constante as concentrações de farinha de chia ou de arroz e variando as concentrações da outra farinha (farinha de arroz ou de chia). Na Figura 42 está representado o comportamento de firmeza dos géis, de acordo com as condições anteriormente descritas.

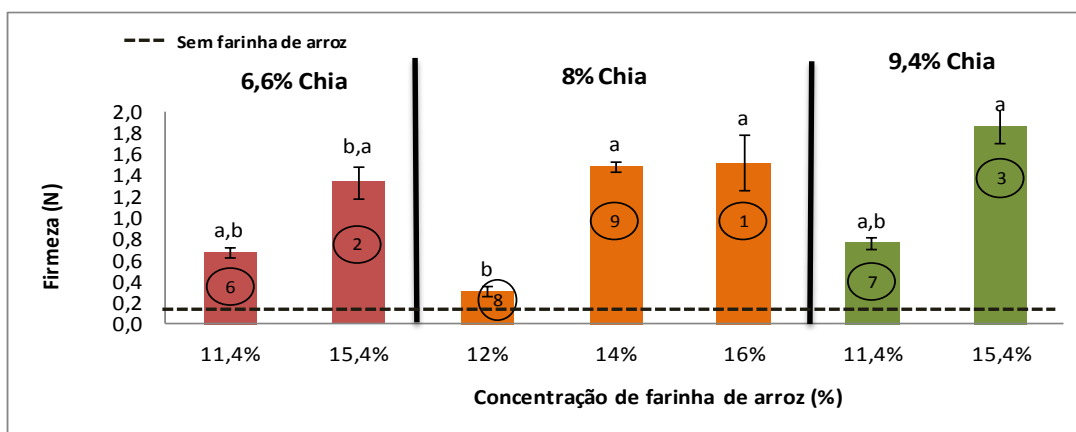


Figura 42 - Firmeza dos géis com farinha de chia e farinha de arroz, preparados 90°C durante 30 min., em que se mantém constante a farinha de chia e se varia as concentrações de farinha de arroz. A tracejado está representada a firmeza dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

Para uma concentração de 6,6% (m/m) farinha de chia (pontos 2 (-1;1) e 6 (-1;-1) da matriz) - com diferentes concentrações de farinha de arroz (11,4 e 15,4%), não apresentam diferenças significativas para valores de firmeza ($p > 0,05$). O mesmo não se verifica para 8% (m/m) de farinha de chia constante, onde a firmeza do ponto 8 (0; -1,414) - 12% apresenta valores significativamente mais baixos relativamente aos pontos 1 (0; 1,414) e 9 (0;0) - 16% e 14%. Para o nível de farinha de chia superior - 9,4%, verifica-se que ambos os teores de farinha de arroz (11,4 e 15,4%) conduzem a géis com firmezas sem diferenças significativas ($p > 0,05$). Verifica-se que a utilização de misturas binárias conduz a um aumento significativo da firmeza dos géis em todos os casos estudados.

Através de uma análise geral, verifica-se que é possível obter valores de firmeza idênticos com proporções muito distintas das duas farinhas (chia e arroz), o que permitirá desenvolver receitas com características sensoriais idênticas, mas com custos e composição nutricional distintos.

Uma análise semelhante foi realizada considerando o teor de farinha de arroz constante e apreciando as variações de firmeza em função dos diferentes níveis de farinha de chia (Figura 43). Para uma concentração de 11,4% (m/m) de farinha de arroz - pontos 6 (-1;-1) e 7 (1;-1) - não apresentam diferenças significativas na firmeza do gel. Com uma concentração de 14% (m/m) de farinha de arroz - pontos 4 (-1,414; 0), 5 (1,414; 0) e 9 (0;0) - apenas se verifica um valor de firmeza significativamente mais elevado no gel do ponto 9 (10% (m/m) farinha de chia). A firmeza dos géis com 15,4% (m/m) de farinha de arroz - pontos 2 (-1;1) e 3 (1;1) - apresenta diferenças significativas entre eles, sendo que o gel com 9,4% (m/m) de farinha de chia (ponto 3) é o que apresenta um valor de firmeza mais elevado.

Verifica-se portanto que a concentração de farinha de chia influencia a firmeza dos géis, sendo que em geral o valor de firmeza aumenta com a concentração de farinha de chia, para os três níveis de concentração de farinha de arroz estudados.

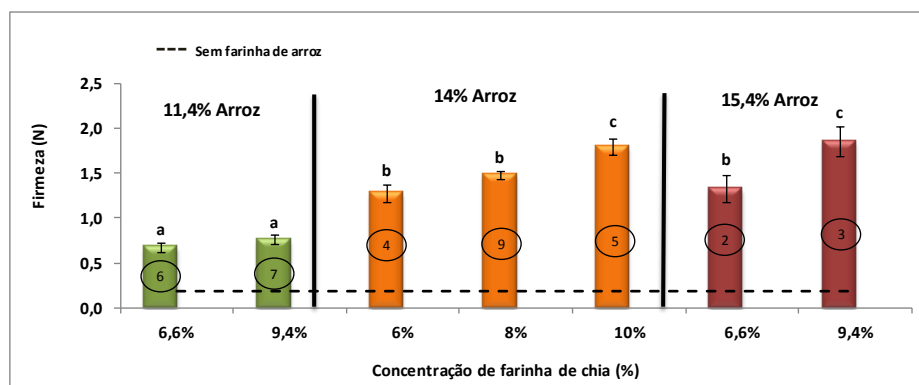


Figura 43 - Variação da firmeza de géis com farinha de chia e farinha de arroz, preparados 90°C durante 30 min., em que se mantém constante a farinha de arroz e se varia as concentrações de farinha de chia. A tracejado está representada a firmeza dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

De acordo com os resultados analisados, verificou-se que misturas com menores concentrações de farinha de chia e farinha de arroz originam géis com firmeza semelhantes em comparação com os obtidos com elevadas concentrações destas matérias-primas.

Comparando a firmeza destes géis com a firmeza dos géis apenas com farinha de chia (representada pela linha preta a tracejado), verifica-se claramente que a interação entre farinhas resulta numa maior firmeza os géis. Seria de esperar que a incorporação da farinha de arroz viesse influenciar a estrutura do gel, uma vez que a sua composição química é bastante reforçada pelo teor de polissacáridos (Lai, 2001).

A seleção das formulações mais adequadas a utilizar para a obtenção dos produtos finais a desenvolver terá como principal condicionante o menor gasto de matéria-prima. A farinha de chia é um produto de elevado custo, comparativamente à farinha de arroz. Através dos resultados obtidos verifica-se que será possível balancear os teores das duas farinhas para a obtenção de produtos com uma firmeza idêntica.

4.6. Incorporação de açúcar e adoçantes em géis de farinha de chia

Vários são os estudos (Bayarri *et al.*, 2004; Holm, *et al.*, 2009) que mostram que a presença de açúcar e adoçantes em formulações culinárias influenciam o mecanismo de formação da estrutura gelificante. Um exemplo que se pode tomar é a preparação de uma compota, em que geralmente é utilizado açúcar e pectina. A pectina neste caso é responsável pela formação da rede tridimensional do gel, formando ligações entre si através de pontes de hidrogénio. Para a formação do gel, há que reduzir as ligações entre as moléculas de água e as moléculas de pectina e facilitar a atração das moléculas de pectina entre si, daí o açúcar desempenhar um papel fundamental na formação da malha gelificante. Como o açúcar é hidrofílico, vai competir com a pectina para a água e diminuir assim a atração pectina-água (Morris, 2007). Sabe-se portanto, que neste tipo de sistemas, quanto maior for a quantidade de açúcar presente na formulação, maior será a firmeza do gel resultante.

Na Figura 44 (a), (b) e (c) estão representados os resultados dos parâmetros de textura relativa aos géis com a farinha de chia com incorporação de sacarose, xilitol e mel. Na mesma figura está representado com uma linha preta o valor do parâmetro de textura correspondente a géis com 13% (m/m) farinha de chia (condições anteriormente otimizadas).

Utilizaram-se diversas concentrações de adoçantes nos géis, uma vez que não se conseguia encontrar uma relação direta com a percentagem de adoçantes a utilizar e os valores de textura dos géis. Para os géis de farinha de chia com mel apenas foram utilizadas concentrações a partir de 10% (m/m), uma vez que sensorialmente os géis com menores teores não apresentavam um sabor agradável.

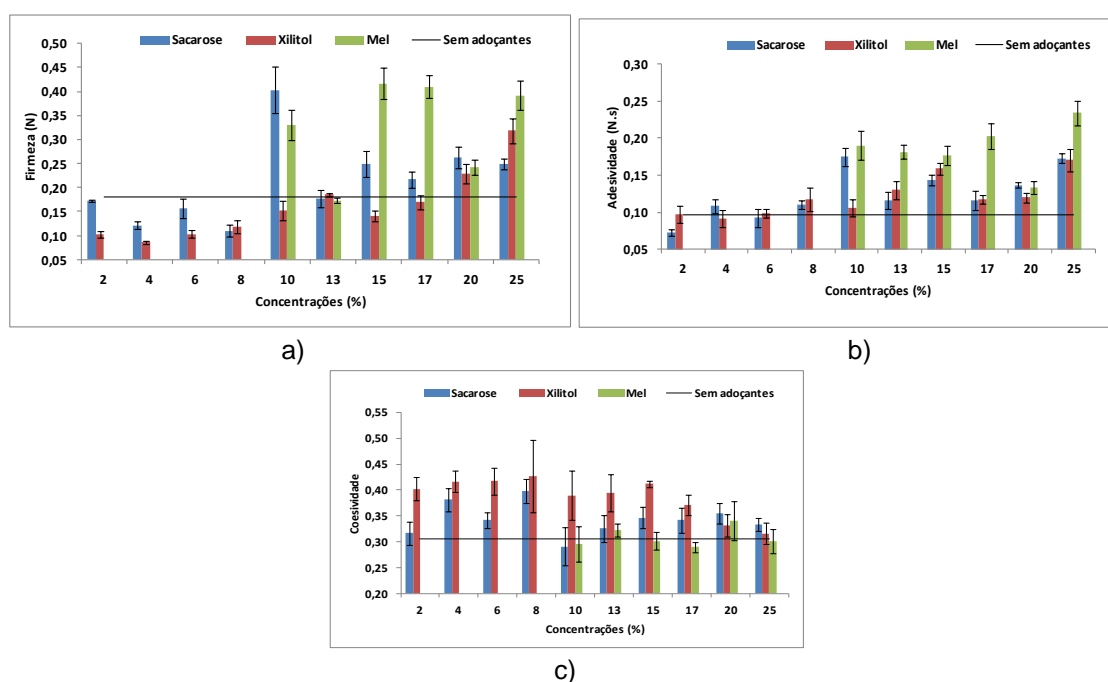


Figura 44 - Comparação dos parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade - dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de sacarose, xilitol e mel. A linha a preto representa os respetivos parâmetros de textura dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

Dos dados apresentados na Figura 44 (a) observa-se que os géis de farinha de chia com xilitol apresentam um aumento linear de **firmeza** à medida que a percentagem de xilitol aumenta. Por outro lado, para os géis com sacarose ou mel, não se verifica uma relação direta entre a firmeza e a concentração de adoçantes. Observa-se que para concentrações de adoçantes abaixo de 10% (m/m), os géis apresentam valores mínimos de firmeza, inferiores aos do gel obtido apenas com farinha de chia. O efeito da concentração de adoçantes começa a ganhar maior expressão a concentrações mais elevadas.

De acordo com a Figura 44 (b) verifica-se um aumento gradual da **adesividade** dos géis à medida que a concentração de sacarose, xilitol e mel também aumenta. No entanto não se verifica uma relação linear entre o teor de adoçante e os valores da adesividade dos géis.

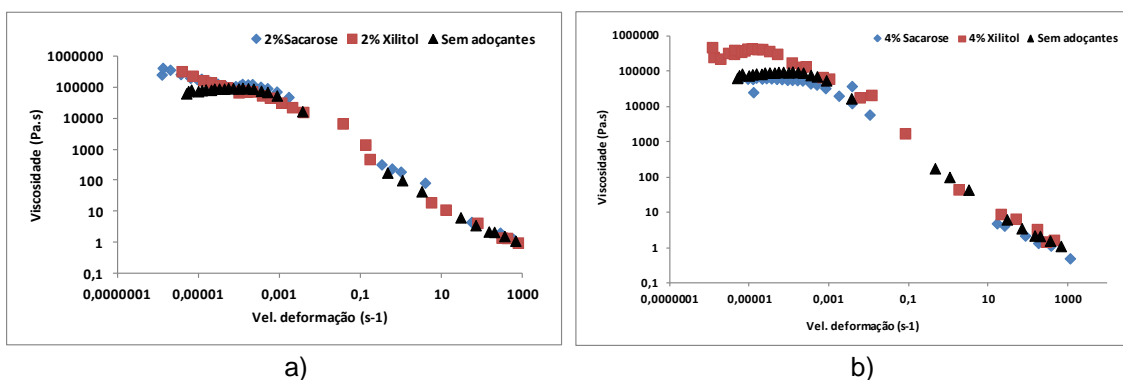
Assim como para a firmeza, os valores de adesividade são mais influenciados pelo teor de adoçantes para concentrações acima dos 10% (m/m). A partir dessa concentração os valores de adesividade dos géis com adoçante são significativamente mais elevados do que dos géis obtidos só com farinha de chia.

Relativamente à **coesividade** (Figura 44 (c)) observa-se, de um modo geral, uma diminuição deste parâmetro com o aumento de concentração de adoçantes. Os géis de farinha de chia sem adoçantes apresentam valores de coesividade mais baixos em relação aos géis com adoçantes.

Para além do impacto da adição de adoçantes nas características de textura dos géis, avaliou-se também o impacto nas suas propriedades de escoamento. De acordo com os resultados apresentados na Figura 45, os géis com diferentes concentrações de adoçantes apresentam um comportamento reofluidificante, muito semelhante ao verificado para os géis sem adoçante. Verifica-se que para as curvas de viscosidades dos géis com 2% (m/m) de sacarose ou xilitol, o primeiro patamar Newtoniano, apresenta valores de η_0 idênticos. No entanto, neste caso, esse patamar está mal definido, o que estará associado a um grau de estruturação mais débil dos respetivos géis. Este resultado está de acordo com os valores de firmeza obtidos, que nestes casos eram inferiores aos dos géis sem adição de adoçantes.

Para géis com 4% (m/m) de sacarose ou xilitol, o primeiro patamar da curva de viscosidade do gel com xilitol apresenta um ligeiro aumento e uma maior extensão, comparado com os valores do mesmo patamar para os géis com sacarose. A curva de viscosidade dos géis com 6% (m/m) de xilitol apresenta valores no primeiro patamar mais elevados em comparação com os géis com 6% (m/m) de sacarose. Para 8% (m/m) de adoçante verificam-se valores mais elevados para o primeiro patamar Newtoniano no caso dos géis com sacarose.

As curvas de viscosidade dos géis com concentrações de 10, 13, 15, 17 e 25% (m/m) de sacarose, xilitol e mel, apresentam curvas de viscosidade idênticas, em que os valores do primeiro patamar adquirem valores da mesma ordem de grandeza. Apenas para os géis com 20% (m/m) de sacarose, xilitol e mel, o primeiro patamar para a curva de viscosidade do gel de xilitol, apresenta um ligeiro aumento em relação aos valores dos géis comparativos.



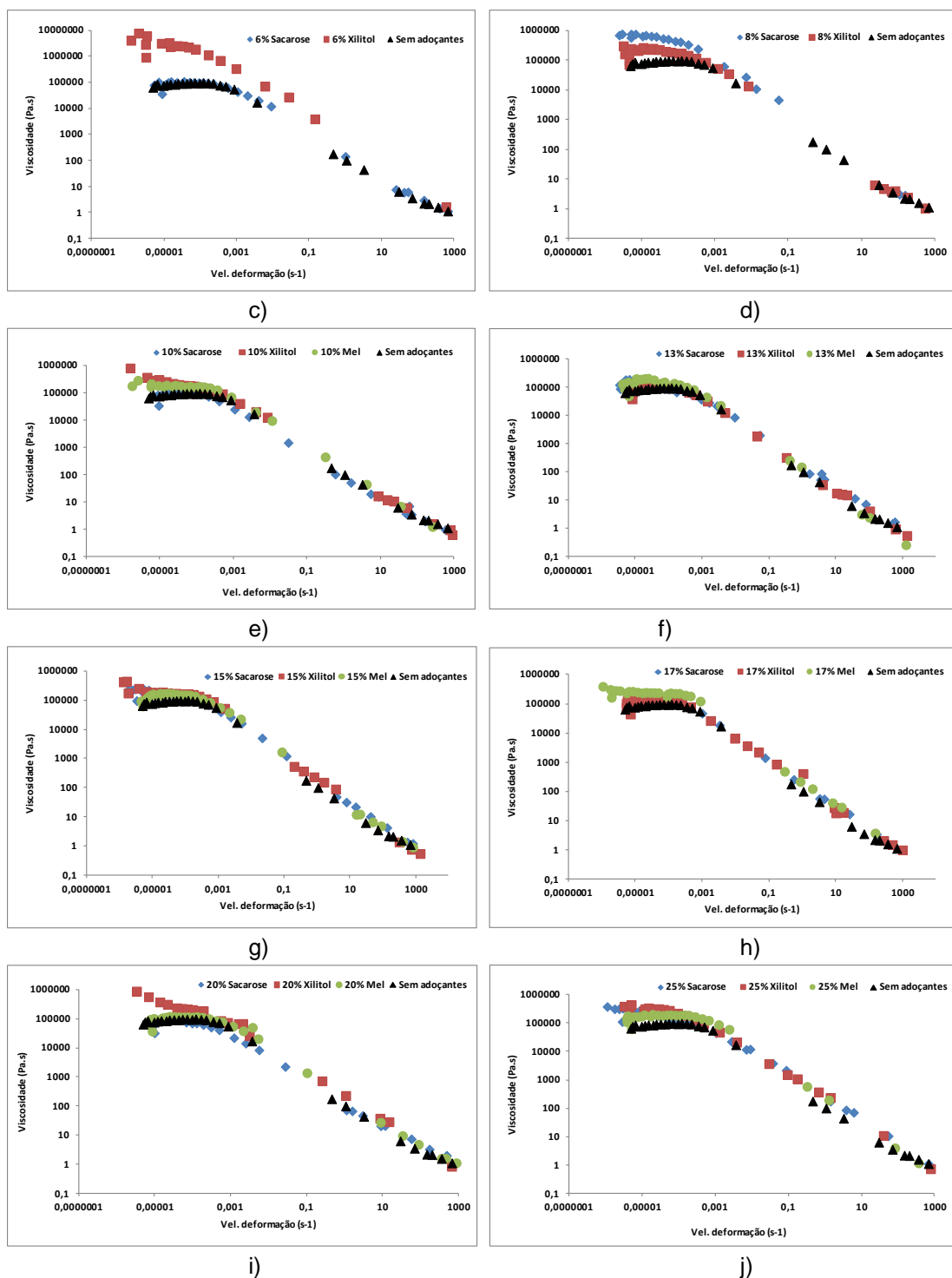


Figura 45 - Curvas de viscosidade dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia e com 2% (m/m) (a), 4% (m/m) (b), 6% (m/m) (c), 8% (m/m) (d), 10% (m/m) (e), 13% (m/m) (f), 15% (m/m) (g), 17% (m/m) (h), 20% (m/m) (i) e 25% (m/m) (j) de adoçantes. Os símbolos a preto representam a curva de viscosidade dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

De acordo com a Figura 45 verifica-se que para as várias concentrações de sacarose, xilitol e mel não há alteração substancial do perfil de escoamento dos géis no que se refere ao seu comportamento reofluidificante. No entanto, verifica-se que baixas concentrações de adoçante implicam uma instabilização da estrutura, que se manifesta por uma redução dos valores da

viscosidade limite (η_0) e por uma redução da extensão do primeiro patamar. Estes resultados estão de acordo com o que se verificou em termos de textura – uma redução da firmeza para concentrações de adoçante reduzidas, comparativamente ao gel sem adoçante.

Em relação à influência da adição de adoçantes na cor dos géis, verifica-se que a incorporação de adoçantes, de um modo geral, induz um escurecimento dos géis, que se manifesta essencialmente pela redução do parâmetro L^* (Figura 46 (a)). Tal facto é reforçado por uma diminuição idêntica do parâmetro b^* e por um aumento de a^* (Figura 46 (b);(c)). Estas alterações na tonalidade dos géis, induzidas pela adição de adoçantes resultarão da ocorrência de reações de Maillard e de outras reações de degradação de açúcares como a caramelização (Araújo, *et al.*, 2011), ou mesmo polimerizações, que são especialmente importantes a altas temperaturas de processamento, neste caso 90°C durante 30 min.

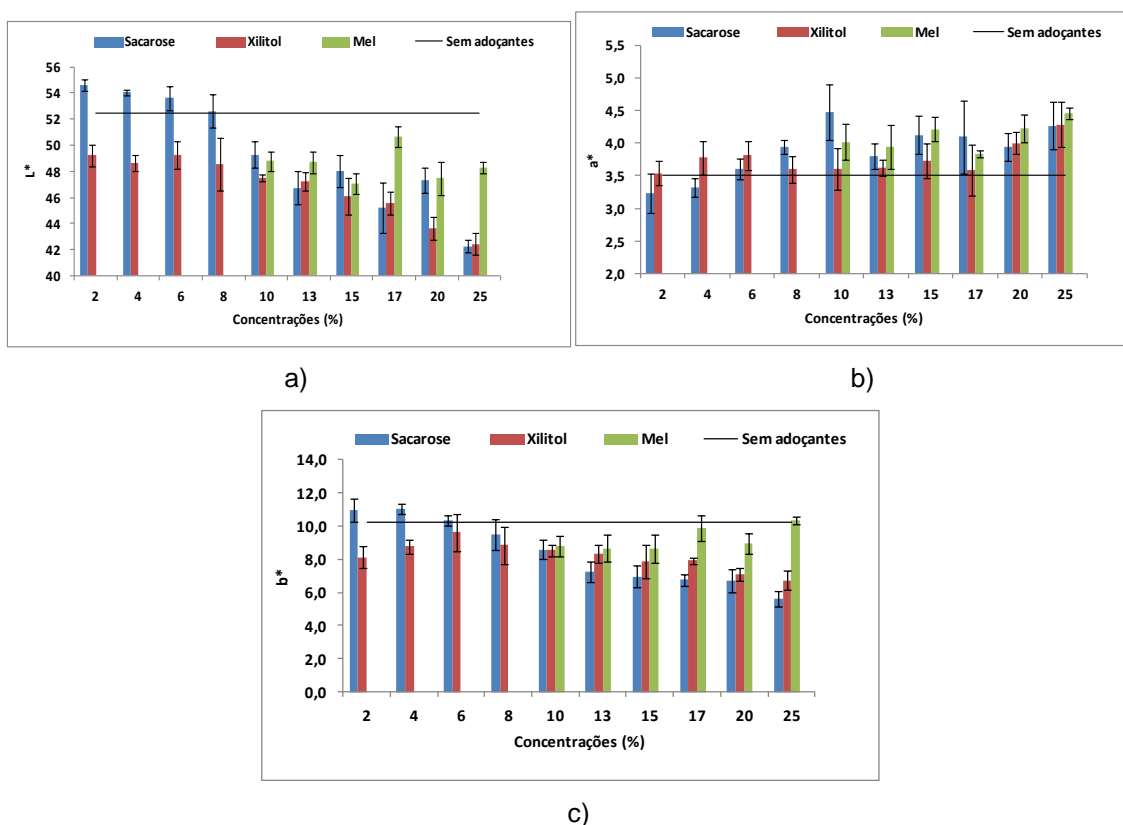


Figura 46 - Parâmetros de cor – L^* (a), a^* (b), b^* (c) – para géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de sacarose, xilitol e mel, em comparação com os géis de farinha de chia simples (linha a preto).

4.7. Incorporação de sais em géis de farinha de chia

De acordo com vários autores (Eisele e Brekke, 1981; Jou e Harper, 1996; Raymundo, 1999), o aumento da solubilidade das proteínas e polissacáridos com adição de NaCl, para um determinado teor de sal, permite um maior grau de desenrolamento das cadeias proteicas existentes na composição química dos alimentos, melhorando assim a capacidade de interação

com a água ou com outras moléculas. Esta intervenção permite um elevado grau de estruturação com grande impacto nos valores das propriedades de textura e reologia. No entanto, concentrações mais elevadas de sal podem promover a precipitação proteica – fenómeno de “*salting-out*”, resultante da redução de solubilidade. Esse limite de teor de sal que condiciona o fenómeno de solubilização depende do sistema em causa.

No sistema em estudo verifica-se que os **parâmetros de textura** dos géis de farinha de chia com a incorporação de diferentes concentrações de KCl, NaCl, CaCl₂ e MgCl₂ apresentam uma drástica diminuição da firmeza e da adesividade comparativamente ao gel de farinha de chia simples (linha a preto) – Figura 47 (a), (b) e (c). Tal facto pode ser explicado considerando que para o intervalo de concentrações de sal estudadas (entre 0,5 e 2%) se estar na zona em que a sua adição tem um impacto negativo na solubilidade proteica e dos polissacáridos (Pereira, *et al.*, 2013).

Em contrapartida, a coesividade dos géis com sais apresenta valores superiores em comparação com o gel de farinha de chia simples, o que poderá resultar do efeito da proteína e dos polissacáridos que se mantêm insolúveis e não incorporam a malha do gel.

Assim, de um modo geral, verificou-se que todos os sais testados induzem uma diminuição do grau de estruturação do gel, expresso em termos de parâmetros de textura. Este será um ponto importante a considerar para o desenvolvimento de aplicações culinárias salgadas.

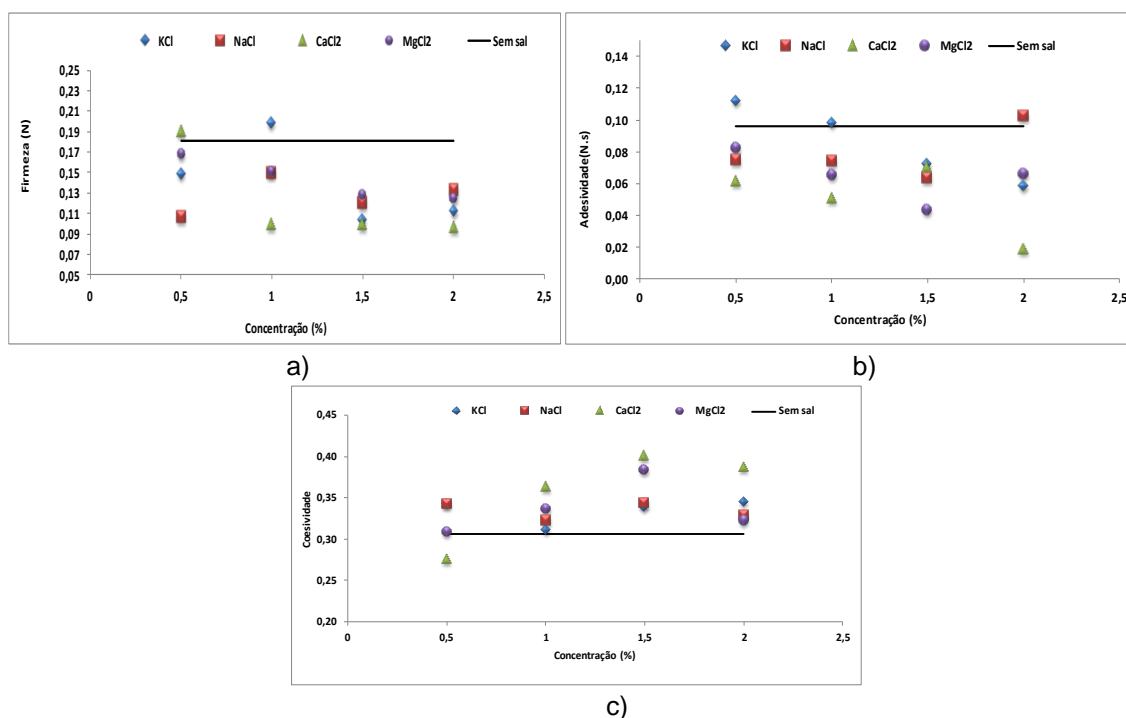


Figura 47 - Comparação dos parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade - dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com incorporação de KCl, NaCl, CaCl₂ e MgCl₂. As linhas pretas representam os respetivos parâmetros de textura dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

Apesar das alterações registadas a nível da textura dos géis, pela adição dos diversos sais estudados, as mesmas não tiveram impacto no que se refere ao tipo de comportamento dos géis em termos de escoamento – as curvas de viscosidade (Figura 48) apresentam sempre o mesmo perfil de comportamento reofluidificante.

Para géis com 0,5% (m/m) de sais, as curvas de **viscosidade** (Figura 48 (a)) apresentam um comportamento praticamente idêntico, considerando o primeiro patamar Newtoniano (viscosidade limite η_0) de todos os géis. Os géis com 1% (m/m) (Figura 48 (b)) de sais apresentam também valores idênticos relativamente à viscosidade limite η_0 , apenas se verificando um ligeiro aumento deste patamar para NaCl e CaCl₂, em comparação com KCl e MgCl₂.

Relativamente aos géis de 1,5% (m/m) (Figura 48 (c)) de sais incorporados, as curvas de viscosidade apresentam valores para o primeiro patamar praticamente idênticos.

Observando os géis com 2% (m/m) (Figura 48 (d)) de sais incorporados, aqueles que apresentam valores no primeiro patamar mais elevados são os de CaCl₂ e MgCl₂, ao contrário dos géis com KCl e NaCl que apresentam valores mais baixos.

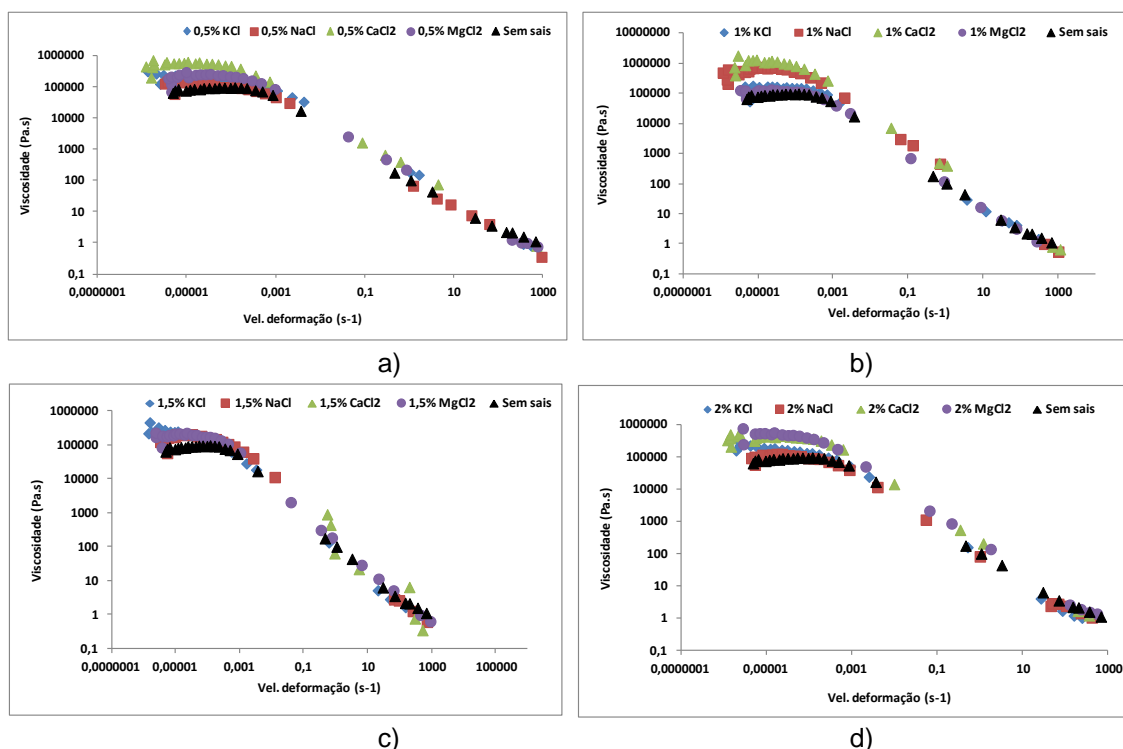


Figura 48 - Variação das propriedades viscoelásticas dos géis com 13% (m/m) de farinha de chia com diferentes concentrações de sais: 0,5% (m/m) (a), 1% (m/m) (b), 1,5% (m/m) (c) e 2% (m/m) (d). Os símbolos a preto representam a curva de viscosidade dos géis obtidos apenas com 13% (m/m) farinha de chia.

De acordo com os resultados obtidos para a determinação dos **parâmetros de cor**, para os géis com farinha de chia com incorporação de sais, não se observaram diferenças significativas para os tons de L*, a* e b*. Tal se pode explicar pelo facto de, uma vez que os sais

incorporados são incolores, apenas a cor da farinha de chia influencia os parâmetros de cor dos géis.

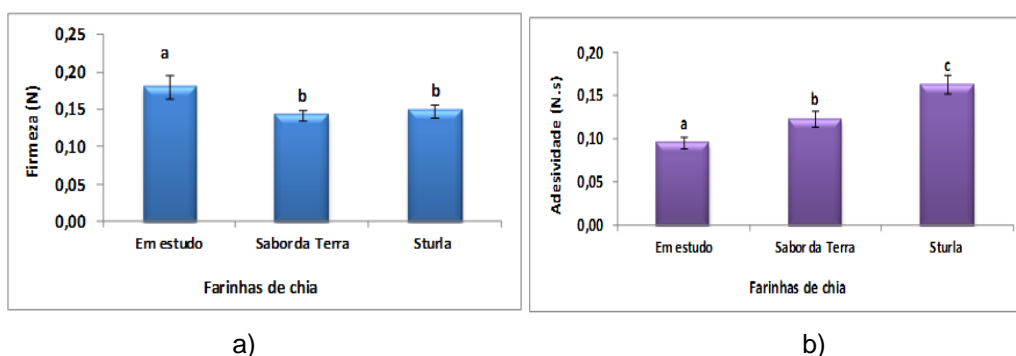
4.8. Comparação da farinha de chia em estudo com farinhas de chia comerciais

Seguindo as condições anteriormente otimizadas para preparação de géis de farinha de chia - 13% de farinha de chia a 90°C/30min - procedeu-se ao estudo comparativo de géis com farinhas de chia comerciais e a farinha de chia em estudo “Midzu”. Pretende-se deste modo avaliar o impacto da utilização de matérias-primas de diferentes origens nas características dos géis a desenvolver e consequentemente nas preparações culinárias a obter.

O estudo foi realizado considerando o mesmo tipo de abordagem realizada para a otimização dos géis já apresentada.

Na Figura 49 (a) (b) e (c) estão representados os resultados dos parâmetros de **textura** para as três farinhas estudadas. Relativamente à firmeza, observa-se que o gel preparado com a farinha da chia em estudo “Midzu” apresenta uma firmeza significativamente maior ($p < 0,05$) em comparação com os géis preparados com farinhas de chia comerciais. Analisando os valores de adesividade, verifica-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os géis, sendo os géis em estudo os menos adesivos. Apenas os géis obtidos com farinha de chia “Sabor da Terra” são significativamente ($p < 0,05$) mais coesos do que os géis em estudo.

Os diferentes valores obtidos em termos de propriedades de textura para os géis produzidos com farinhas de diferentes origens resultam das diferenças consideráveis na composição química das mesmas, apresentada na secção 4.1.1. De acordo com os valores da composição química da farinha de chia em estudo “Midzu”, esta apresenta uma maior percentagem de gordura total e de proteínas em comparação com a farinha de chia “Sabor da Terra”. Tal facto pode influenciar a firmeza e a adesividade dos géis obtidos, uma vez que se podem estabelecer ligações mais estruturadas entre as moléculas de água e da farinha de chia. Uma vez que a farinha de chia “Sturla” é desengordurada, esta não pode fazer parte da explicação dada anteriormente.



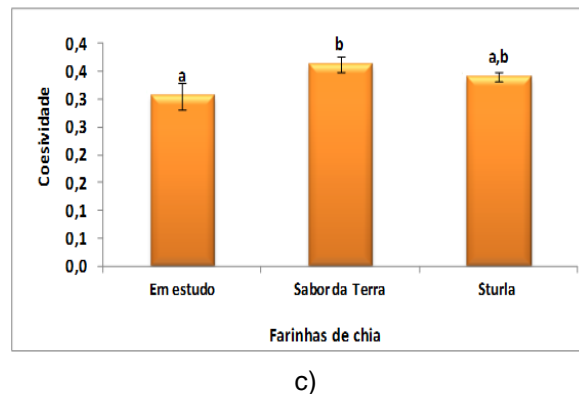


Figura 49 - Parâmetros de textura – a) Firmeza, b) Adesividade e c) Coesividade – das farinhas de chia (Em estudo “Midzu”, “Sabor da Terra” e “Sturla”).

Para complementar os resultados obtidos em termos de textura, avaliou-se a **viscosidade dos géis** preparados com as diferentes farinhas de chia.

De acordo com as curvas de viscosidade representadas na Figura 50, todos os géis estudados apresentam um comportamento reofluidificante. Verifica-se que a viscosidade limite (η_0) para todos os géis é semelhante, apresentando apenas um ligeiro aumento no gel com farinha de chia “Sturla”, mas neste caso o primeiro patamar Newtoniano é menos extenso e não está tão bem definido. Tal facto poderá revelar uma menor estruturação do gel, o que estará de acordo com os menores valores de firmeza obtidos para este caso. O facto de ser a única amostra desengordurada pode estar na origem do comportamento apresentado.

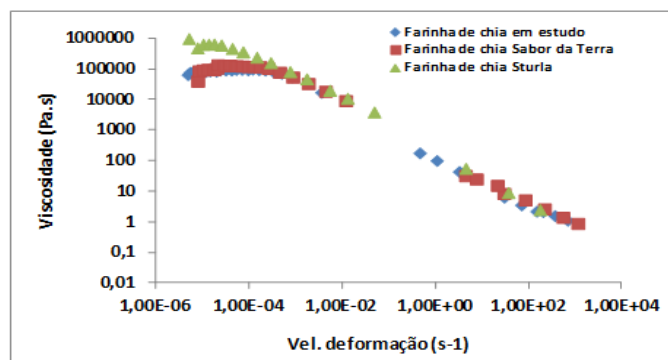


Figura 50 - Curvas de viscosidade de géis de farinhas de chia com velocidades iguais de agitação.

No seguimento de testes realizados para determinação das características físicas dos géis resultantes de diferentes farinhas de chia, procedeu-se à caracterização do **comportamento viscoelástico linear** dos mesmos.

Os espectros mecânicos resultantes dos ensaios dinâmicos efetuados, estão resumidos na Figura 51. Verifica-se que os géis preparados com as farinhas de chia comerciais – “Sabor da Terra” e “Sturla”, apresentam valores de G' e G'' idênticos entre si, com um espaçamento entre estes módulos inferior a uma década e com uma dependência da frequência de oscilação. Este comportamento é típico de um gel fraco.

Comparando os valores de G' dos géis com farinha de chia em estudo “Midzu”, estes são mais baixos que os géis com farinhas de chia comerciais. Este resultado não traduz o que se apresentou em termos de textura, uma vez que os géis em estudo foram os mais firmes. Assim, poderá pensar-se que o nível de estruturação dos géis obtidos com a farinha em estudo é inferior ao dos restantes, o que poderá resultar da existência de um elevado teor de gordura que condiciona o estabelecimento das ligações que formam a malha do gel. No entanto, tal facto não se traduz por uma diminuição de firmeza, pois o elevado teor de gordura terá um impacto positivo na firmeza final do gel, provavelmente resultante da sua cristalização durante o processo de gelificação.

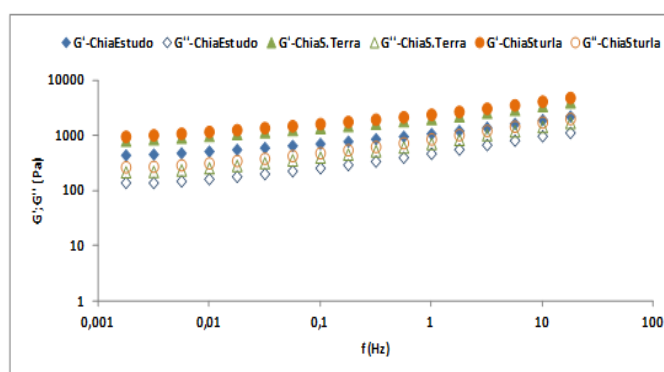
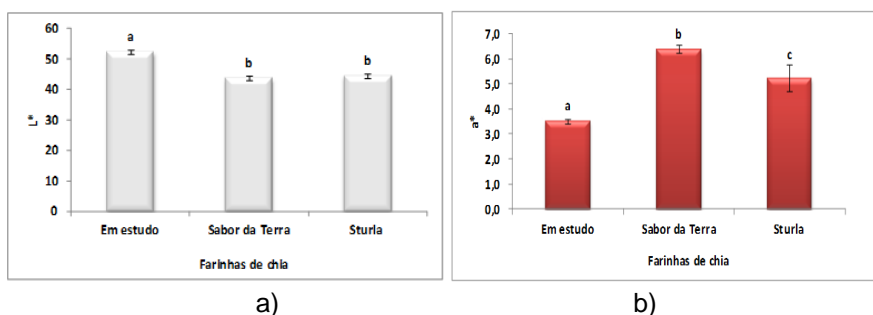
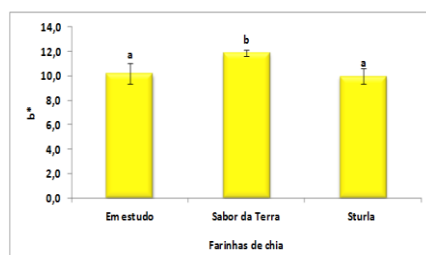


Figura 51 - Espectros mecânicos relativos à caracterização reológica dos géis com farinhas de chia – Em estudo “Midzu”, “Sabor da Terra” e “Sturla”.

Prevendo a possibilidade das diferentes composições das farinhas de chia, poderem originar diferentes colorações nos géis, avaliou-se a variação dos **parâmetros de cor**, uma vez que são matérias primas obtidas de modo distinto e com origem geográfica diferente.

Na Figura 52 (a), (b) e (c) estão representadas as variações dos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* . Os géis preparados com a farinha de chia em estudo “Midzu” apresentam valores de luminosidade (L^*) (Figura 52 (a)) significativamente mais elevados que os com as farinhas de chia comerciais. Este resultado é devido à presença de uma maior quantidade de sementes de chia brancas na sua formulação. Pelo contrário, o parâmetro a^* (Figura 52 (b)) é representado por valores significativamente diferentes ($p < 0,05$) para todos os géis preparados. De acordo com o parâmetro b^* (Figura 52 (c)), os géis com farinha de chia “Sabor da Terra” apresentam valores significativamente mais elevados ($p < 0,05$) que os restantes géis.





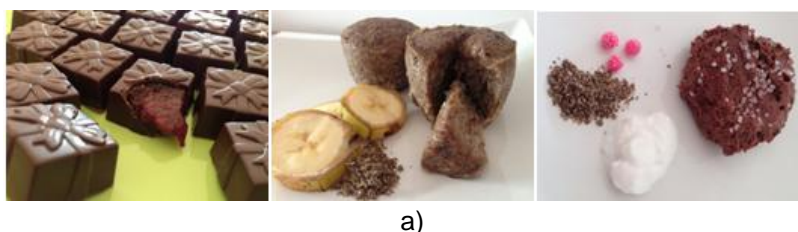
c)

Figura 52 - Parâmetros de cor – L*(a), a* (b) e b* (c) dos géis de diferentes farinhas de chia (13% (m/m)) preparados a 90°C com duração de 30min.

4.9. Desenvolvimento de aplicações culinárias para os géis de chia

De acordo com o ponto 3.4 efetuou-se o desenvolvimento das preparações culinárias à base de farinha de chia e tendo em conta o seu poder gelificante.

Prepararam-se três produtos doces e dois produtos salgados (Figura 53). Conforme descrito na secção 3.4 realizou-se uma análise sensorial recorrendo a um painel de provadores não treinados para avaliação dos respetivos produtos. Parâmetros como o aspeto, o sabor e a textura foram avaliados caracterizando assim o produto final, de acordo com a folha de prova apresentada no Anexo. As cotações obtidas a partir do teste hedónico realizado pelo painel de provadores, estão representados nas Figuras 54 e 55.



a)



b)

Figura 53 – Produtos desenvolvidos tendo por base a propriedade gelificante da farinha de chia: a) produtos doces; b) produtos salgados.

A partir da Figura 54 é possível observar que de entre os produtos doces desenvolvidos, o recheio de bombons foi aquele que obteve apreciações mais positivas para todos os parâmetros em avaliação. O pudim de banana foi aquele que obteve a classificação mais baixa em todos os parâmetros. Relativamente à sobremesa de chocolate, esta foi a que obteve valores de apreciação mais homogênea. Através de observações feitas pelos consumidores acerca dos produtos doces apresentados, apontaram-se como críticas construtivas, por exemplo a falta de açúcar no pudim de banana e a combinação de cores da farinha de chia (acastanhada) com o amarelo “cozido” da banana, que não favoreceram o produto em si.

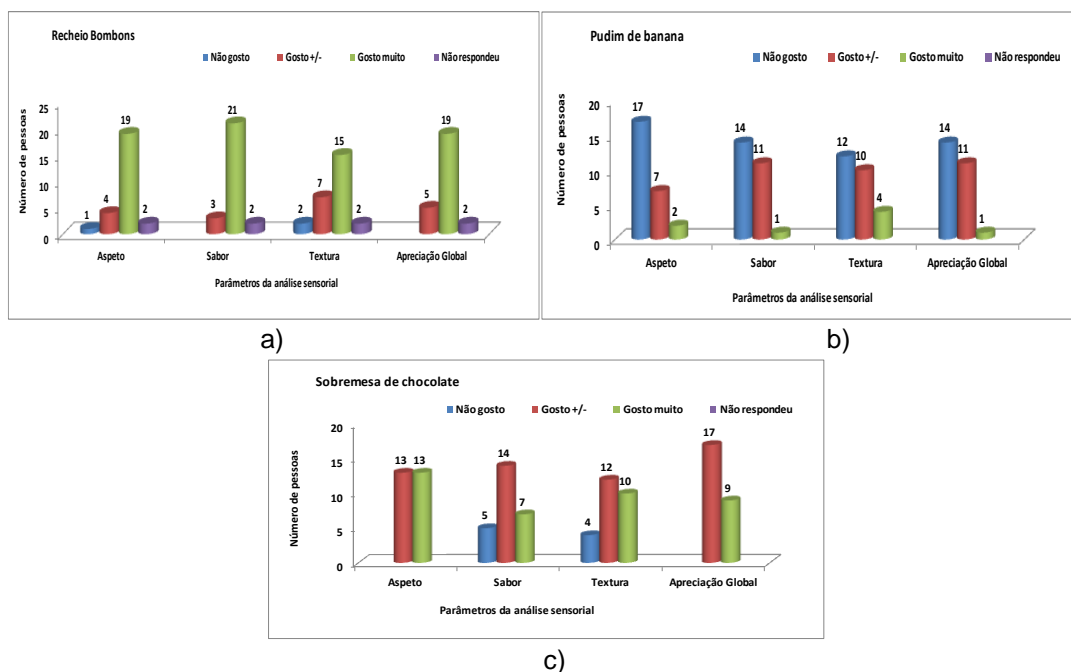


Figura 54 - Cotação obtida na análise sensorial das preparações culinárias doces com base gelificante de farinha de chia – a) Recheio de bombons, b) pudim de banana e c) sobremesa de chocolate.

Relativamente aos produtos salgados representados na Figura 55 observa-se que o molho para massas foi o que obteve uma classificação superior nos parâmetros analisados – aspeto, sabor, textura. Contudo o número de pessoas que não avaliou o molho é consideravelmente superior ao número de pessoas que não classificou o esparregado de favas, podendo tal influenciar os valores apresentados.

Aspetos como o sabor a vinagre do esparregado de favas e cebola pouco triturada do molho para massas foram considerados relevantes para uma apreciação pouco positiva.

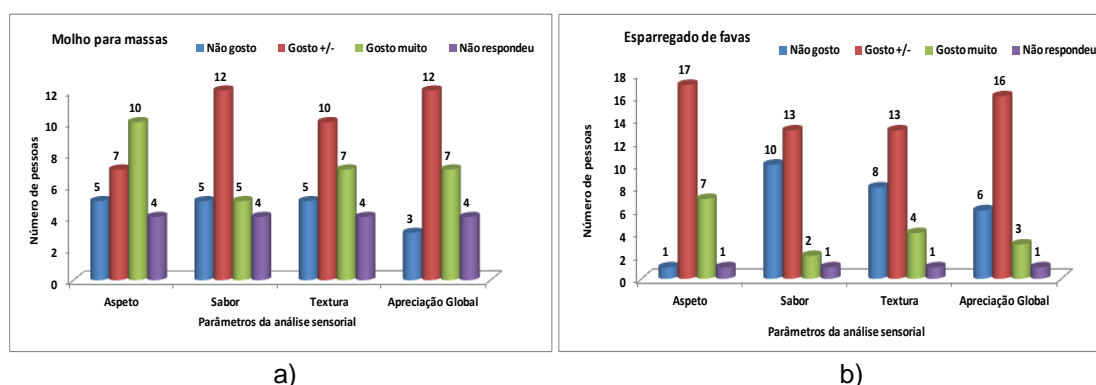


Figura 55 - Cotação obtida na análise sensorial das preparações culinárias salgadas com base na propriedade gelificante da farinha de chia – a) molho para massa e b) esparregado de favas.

5. Conclusões

No presente trabalho estudou-se a capacidade gelificante de farinha de chia, obtida a partir das sementes trituradas “Midzu”. Avaliou-se ainda o efeito da adição de adoçantes, sais e farinha de arroz nas características dos géis. Considerando as condições otimizadas e com base no poder gelificantes da farinha de chia, desenvolveram-se novas propostas.

A avaliação da composição química da farinha de chia “Midzu” selecionada para o estudo e de outras farinhas de chia comerciais permitiu concluir que as condições de produção, e até mesmo o local onde são produzidas as sementes de chia, influenciam os valores nutricionais de cada farinha. No entanto, todas as farinhas apresentavam teores consideráveis de gordura total, de hidratos de carbono e de proteínas. O elevado teor de fibras é também uma característica de todas as farinhas estudadas. Tal torna a farinha de chia um produto interessante para o desenvolvimento de alimentos funcionais.

A elevada capacidade de retenção de água da chia e sua farinha descritas na literatura foi comprovada através da determinação dos índices de solubilidade e de absorção de água da farinha de chia, permitindo concluir que o aumento da temperatura influencia a capacidade de absorção de água e consequentemente a solubilidade da farinha de chia. Esta característica permite considerar a farinha de chia como uma alternativa aos gelificantes e espessantes comuns no desenvolvimento de produtos alimentares, sendo considerada esta funcionalidade tecnológica um fator de inovação assumida.

A análise da textura dos géis de farinha de chia selecionada para o estudo “Midzu”, através de testes de TPA, e em particular considerando o parâmetro de firmeza - parâmetro que melhor define a estrutura de um gel - permitiu concluir que a firmeza aumenta com a severidade do tratamento térmico, assim como a concentração de farinha de chia. De acordo com os resultados obtidos, para géis preparados a 90°C/30 min, a concentração mais eficaz para a formação de um gel com as características desejadas é de 13% (m/m) de farinha de chia. Em concordância com os resultados de textura, verificou-se que todos os géis de farinha de chia estudados apresentam um comportamento reofluidificante. Verificou-se ainda que com o aumento de concentração de farinha de chia, a viscosidade limite (η_0), extrapolada a partir do primeiro patamar Newtoniano, apresenta valores mais elevados. Quanto maior a concentração de substâncias gelificantes (proteínas e polissacáridos), mais estruturados serão os géis e consequentemente maior será a resistência ao escoamento.

A avaliação do efeito da concentração da farinha de chia na estrutura dos géis, analisada através da caracterização reológica, permitiu concluir que para todos os casos estudados a componente elástica (G') foi sempre superior à componente viscosa (G''). Mesmo no início do aquecimento das suspensões de farinha de chia, a 20°C, tal comportamento já era evidente, podendo-se afirmar que a hidratação prévia da suspensão originou de imediato a formação de uma estrutura tipo gel. As curvas de desnaturação para as diferentes concentrações de farinha

de chia indicaram que sistemas com concentrações menores (10% (m/m)) de farinha de chia revelam uma constância acentuada dos valores de G' e G'' . Tal explica a necessidade de um tempo mínimo de desnaturação para que haja a formação da rede de gel, após o aquecimento. Relativamente à evolução das propriedades viscoelásticas em função da temperatura de arrefecimento, verificou-se um aumento acentuado dos módulos G' e G'' , para as concentrações de farinha de chia elevadas (13% (m/m) e 15% (m/m)), traduzindo o aumento de rigidez do gel durante o arrefecimento resultante da formação de ligações intramoleculares. A análise das cinéticas de maturação permitiu concluir que o tempo necessário para uma estabilização da estrutura do gel era de 40 minutos. Este dado é particularmente importante para a planificação de preparações culinárias, correspondendo ao intervalo de tempo entre a preparação do gel e o atingir de uma estrutura estável. Através dos espectros mecânicos, concluiu-se que para todos os géis com concentrações mais ou menos elevadas de farinha de chia, estes assumiram uma estrutura do tipo gel fraco, caracterizada pela dependência dos módulos viscoelásticos com a frequência.

A avaliação do efeito das taxas de arrefecimento dos géis, analisada através da caracterização reológica, permitiu concluir que à medida que a taxa de arrefecimento aumenta, os valores de G' e G'' diminuem, correspondendo assim a sistemas menos estruturados. Verificou-se portanto que o tempo de arrefecimento tem uma relação direta com as ligações estruturais das moléculas dos sistemas gelificados, promovendo estruturas moleculares mais organizadas e com ligações mais estáveis para processos de arrefecimento mais lentos.

Através da análise de textura dos géis obtidos com misturas de farinha de chia “Midzu” e farinha de arroz, concluiu-se que em consequência do potencial de interação destas duas misturas, é possível obter géis com firmezas semelhantes utilizando menores concentrações de farinha de chia e farinha de arroz, relativamente aos obtidos com concentrações mais elevadas destas matérias-primas isoladamente. A seleção das formulações mais adequadas a utilizar para a obtenção dos produtos finais a desenvolver terá como principal condicionante o menor gasto de matéria-prima, uma vez que a farinha de chia é um produto de elevado custo.

Através do estudo do efeito de adoçantes nos géis com farinha de chia “Midzu”, concluiu-se que a presença de açúcar e adoçantes influencia positivamente o mecanismo de formação da estrutura gelificante. Com base no parâmetro de firmeza, verificou-se que para concentrações acima dos 10% (m/m) de adoçantes, os géis com farinha de chia atingiam maior expressão, obtendo-se estruturas gelificadas mais firmes. De acordo com os resultados obtidos em termos de textura, para o perfil de escoamento dos géis com incorporação de adoçantes, conclui-se que não há alteração substancial do mesmo no que se refere ao seu comportamento reofluidificante. No entanto, baixas concentrações (2, 4, 6 e 8% (m/m)) de adoçante implicam uma instabilização da estrutura que se manifesta numa redução dos valores de viscosidade limite (η_0) e por uma redução da extensão do primeiro patamar.

A análise do efeito de sais nos géis com farinha de chia “Midzu” permitiu concluir que estes influenciam negativamente a estruturação da malha gelificante. Com a incorporação de diferentes concentrações de KCl, NaCl, CaCl₂ e MgCl₂ verificou-se que todos os sais testados induzem uma diminuição do grau de estruturação do gel, expresso em termos de parâmetros de textura. Apesar das alterações registadas a nível da textura dos géis pela adição dos diversos sais estudados, os mesmos não tiveram impacto no que se refere ao comportamento dos géis em termos de escoamento, uma vez que as curvas de viscosidade apresentaram sempre o mesmo perfil de comportamento reofluidificante.

A análise comparativa das características físicas das farinhas de chia analisadas (em estudo e comerciais) permitiu concluir que as diferenças verificadas em termos de textura dos géis produzidos com farinhas de diferentes origens resultam das diferentes composições químicas das amostras. De acordo com o perfil de escoamento, todos os géis estudados apresentam um comportamento reofluidificante. Relativamente à caracterização do comportamento viscoelásticos linear dos géis, verificou-se que os géis preparados com as diferentes farinhas de chia, apresentam valores de G' e G'' idênticos entre si, com um espaçamento entre estes módulos inferior a uma década e com uma dependência da frequência de oscilação, considerando-se este um comportamento típico de um gel fraco.

Após otimização das condições de processamento e preparação dos géis com farinha de chia foi possível desenvolver produtos culinários doces e salgados, constituindo estes uma alternativa em termos de alimentação funcional, expressando igualmente mais uma opção na produção de alimentos para celíacos, uma vez que esta matéria-prima é isenta de glúten.

O trabalho desenvolvido também poderá ser uma base para a rentabilização da farinha de chia desengordurada (subproduto da extração de óleo de chia), podendo constituir uma alternativa com impacto ambiental para as indústrias produtoras desta matéria-prima, sendo uma mais-valia económica na valorização de subprodutos. Assim como a possibilidade de transações comerciais entre empresas produtoras latino-americanas de farinha de chia desengordurada com indústrias nacionais de transformação de alimentos, podendo-se valorizar de forma rentável o uso de farinha de chia desengordurada para desenvolvimento de produtos funcionais.

Atendendo às conclusões deste trabalho é possível propor outros estudos para complementar os resultados obtidos, como o alargamento dos sistemas estudados (farinha de chia-propriedade gelificante) ao desenvolvimento de outras propriedades tecnológicas como por exemplo a aplicação em emulsões e espumas de farinha de chia nas matrizes alimentares desenvolvidas.

Referências Bibliográficas

- Almeida, I., Barreira, J., Oliveira, M., Ferreira, I. (2011). Dietary antioxidant supplements: Benefits of their combined use. *Food and Chemical Toxicolog*, 49, 3232–3237.
- American Institute for Cancer Research . (2007). Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective. Washington DC. Cap. 4, pag71.
- Araújo, W., Montebello, N., Botelho, R., Borgo, L. (2011). Alquimia dos Alimentos, 2º Edição, Editora Senac. Distrito Federal, Brasília.
- Arntfield, S.D., Murray, E.D., & Ismond, M.A.H. (1986). Effect of salt on the thermal stability of storage proteins from fababean (*Vicia faba*). *Journal of Food Science*, 51 (2), 371-377.
- Ayerza, R., Coates, W. (1997). Selection and development of chia cultivars: initial results. Em: *Proceedings of the Annual Meeting of the Association for the Advancement of Industrial Crops*. Saltillo, México.
- Ayerza, R. e Coates, W. (2002). Dietary levels of chia: influence on hen weight, egg production and sensory quality, for two strains of hens. *British Poultry Science*, 43, 283–290.
- Ayerza, R. e Coates, W. (2004). Composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science*, 44, 131–135.
- Azchia. (2013). <http://www.azchia.com/black-chia-seeds-vs-white-chia-seeds/>. Consultado em Abril 2013.
- Batista, A.P., Portugal, C.A.M., Sousa, I., Crespo, J.G., & Raymundo, A. (2005). Accessing gelling ability of vegetable proteins using rheological and fluorescence techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 36 (3), 135-143.
- Batista, A. (2012). Natural pigments and microalgal biomass in colloidal food systems: Rheological Characterization. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva.
- Bayarri, S., Durán, L., Costell, E. (2004). Influence of sweeteners on the viscoelasticity of hydrocolloids gelled systems. *Food Hydrocolloids*, 18, 611–619.
- Belitz, H.D. e Grosch, W. (1992). Química de Los Alimentos. 2ª edición, Acirbia, Editorial, S.A., 315-323.
- Benexia – Omega3. (2013). <http://industry.benexia.com/en/>, Chile. Consultado em Janeiro 2013.

- Bhattacharya, S. N. (1997). Rheology: fundamentals and measurements. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology.
- Boger, D. V. e Walters, K. (1993). Rheological phenomena in focus. Amsterdam, Elsevier.
- Borneo, R., Aguirre, A., León, A.E. (2010). Chia (*Salvia hispanica* L.) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulations. *Journal of the American Dietetic Association*, 110, 946-949.
- Bourne, M. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. *Food science and technology international series*. Academic Press, London, 107-112.
- Buleon, A. e Colonna, P. (2007). Physicochemical Behaviour of Starch in Food Applications, Cap.2. Em: *Chemical Physics of Food*. P.Belton, (eds.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- Capitani, M.I., Spotorno, V., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2012). Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT - Food Science and Technology*, 45, 94 – 102.
- Carrillo-Navas, H., Cruz-Olivares, J., Varela-Guerrero, V., Alamilla-Beltrán, L., Vernon-Carter, E.J., Pérez-Alonso, C., (2011). Rheological properties of a double emulsion nutraceutical system incorporating chia essential oil and ascorbic acid stabilized by carbohydrate polymer–protein blends. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1231– 1235.
- Chaplin, M., (2013). Water Structure and Science. Version 28 July, 2013. <http://www.lsbu.ac.uk/water/hydro.html> in the London Shout Bank, <http://www.lsbu.ac.uk/>.
- Clark, A.H. (2000). Biopolymer gelation - the structure -property relationship. Em: *Gums and Stabilisers for the food industry 10*. Williams, P.A. e Phillips, G.O., (eds), The Royal Society of Chemistry, 91-110.
- Coates, W. (2012). Chia: the complete Guide to the ultimate superfood. Sterling Publishing Eds. New York.
- DeMars, L. e Ziegler, G. (2001). Texture and structure of gelatin/pectin-based gummy confections. *Food Hydrocolloids*, 15, 643-653.
- Doublier, J.L., & Thibault, J.F. (1984). Les agents épaississants et gélifiants de nature glucidique. Em: *Additifs et Auxiliaires de Fabrication dans les Industries Agro-Alimentaires*, Collection Science et techniques Agro-Alimentaires, 305-341.
- Drucker, P. (2002). The effective executive, HarperCollins Publishers, Inc.
- Eisele, T.A. & Brekke (1981). Chemical modification and functional properties of acylated beef heart myofibrillar proteins. *J. Food Sci.*, 46, 1095-1102.

- Farahnaky, A., Askari, H., Majzoobi, M., Mesbahi Gh. (2010). The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. *Journal of Food Engineering*, 100, 294–301.
- Ferry, J.D. (1948). Protein gels. *Advances in Protein Chemistry*, 4, 1-78.
- Ferry, J.D. (1980). *Viscoelastic Properties of Polymers* (p.641). John Wiley & Sons, New York.
- Fuller, G.W. (1994). *New Food Product Development, From Concept to marketplace*, CRC Press, Inc. Florida, 179-197.
- Gan, H.E., Karim, R., Muhammad, S.K.S., Bakar, J.A., Hashim, D.M., Rahman, R.Abd. (2007). Optimization of the basic formulation of a traditional baked cassava cake using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 611-618.
- Glicksman, M. (1969). Food Applications of Gums. Em: Gum Technology in the Food Industry, pp.270-294. Academic Press, Londres.
- Hermansson, A.M. (1986). Soy protein gelation. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 63, 658-666.
- Holm, K., Wendin, K., Hermansson, A. (2009) Sweetness and texture perceptions in structured gelatin gels with embedded sugar rich domains. *Food Hydrocolloids*, 23, 2388–2393.
- Hussein, M.M., Hassan, F., Daym, H.H., Salama, A., Salama, Enab, A.K., El-Galil, A. (2011). Utilization of some plant polysaccharides for improving yoghurt consistency. *Annals of Agricultural Science*, 56, 97–103.
- Imenson, A. (2010). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Blackwell Publishing, U.K.
- Institute of food technologists. (1981). Sensory Evaluation Guide for testing food and beverage products. *Food Technology*, 50-59.
- Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2006). Caracterización de semillas y aceite de chia (*Salvia hispanica L.*). Proceedings of the II Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina.
- Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2008). Physical properties of chia (*Salvia hispanica L.*) seeds industrial crops and products, 28, 286–293.
- Ixtaina, V.Y. (2010). Caracterización de la semilla y el aceite de chíá (*Salvia hispanica L.*) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.

- Ixtaina, V.Y., Martínez, M.L., Spotorno, V., Mateo, C.M., Maestri, D.M., Diehl, B.W.K., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 166–174.
- Jou, K. D., & Harper, W. J.(1996). Effect of disaccharides on the thermal properties of whey proteins determined by differential scanning calorimetry (DSC). *Milchwissenschaft*, 51, 509–511.
- Kinsella, J.E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 56, 242-258.
- Kramer, A., Szczesniak, A. S. (1973). Texture Measurements of Foods: Psychophysical Fundamentals; Sensory, Mechanical, Chemical Procedures and Their Interrelationships, *Springer*.
- Lai, H. M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*, 72, 455–463.
- Leach, H. W., McCowen, L. D., Schoch, T. J. (1959). Swelling power and solubility of granular starches. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544.
- Leskauskaitė, D., Kriūkova, I., Brantas, A. (2005). Textural attributes of mixed whey proteins and carrageenan gels. *Maisto Chemija ir Technologija*, 39, 24-32.
- Lin, K., Daniel, J.R., Whistler, R.L. (1994). Structure of chia seed polysaccharide exudates. *Carbohydrate Polymers*, 23, 13-18.
- Lopes da Silva, J. A., & Rao, A. M. (1999). Rheological behavior of food gel systems. Em: A. M. Rao (Ed.), *Rheology of fluid and semisolid foods principles and applications* (pp.319–368). Aspen Publishers, Inc.
- Lundin, L., Herrnansson, A. (1998). Multivariate analysis of the influences of locust bean gum , a , - casein , Ic-casein on viscoelastic properties of Na-K-carrageenan gels. *Food Hydrocolloids*, 12, 175-187.
- Matveev, Y.I., Grinberg, V.Y., Tolstoguzov, V.B. (2000). The plasticizing effect of water on proteins , polysaccharides and their mixtures . Glassy state of biopolymers, food and seeds. *Food Hydrocolloids*, 14, 425–437.
- Mellema, M., Walstra, P., Van Opheusden, J.H.J. e Van Vliet, T. (2002). Effects of structural rearrangements on the rheology of rennet-induced casein particle gels. *Advances in Colloid and Interface Science*, 98, 25-50.
- Mezger, T. G. (2002). In Ulrich Zorll (Ed.), *The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers*. Germany: Hannover.

- Monteiro, S.R., Tavares, C., Evtuguin, D.V., Moreno, N. e Lopes da Silva, J.A. (2005). Influence of galactomannans with different molecular weights on the gelation of whey proteins at neutral pH. *Biomacromolecules*, 6, 3291-3299.
- Moreira, R., Chenlo, F., Prieto, D., Torres, M., (2012). Water Adsorption Isotherms of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Food Bioprocess Technol*, 5, 1077–1082.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D. (2013). Effect of chia (*Sativa hispanica* L.) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. *LWT - Food Science and Technology*, 50, 160-166.
- Morris, V.J. (2007). Gels, Cap.6. Em: *Chemical Physics of Food*, P.Belton, (eds.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- Moura, J. (2011). Cozinha com ciência e arte, Bertrand Editora, Lisboa.
- Moura, J., Viegas, J., Dias, S., Prista, C., Dias, C., Guerreiro, M., Mata, P. (2011). Cooking in the 21st Century The role of hydrocolloids in the changing of processes and attitudes "Food Colloids and Molecular Gastronomy/4th Iberian Meeting on Colloids and Interfaces".
- Muñoz, L.A., Aguilera, J.M., Rodriguez-Turiénzo, L., Cobos, A., Diaz, O. (2012a). Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* L. and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 111, 511–518.
- Muñoz, L.A., Cobos, A., Diaz, O., Aguilera, J.M. (2012b). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108, 216–224.
- Myhrvold, N., Young, C., Bilet, M. (2011). Ingredients and preparations. Em: *Modernist Cuisine, The Art and Science of Cooking* (Vol.4), The Cooking Lab, LLC, Bellevue, Pag 44-47.
- Norma Cubana, ISO 20483 (2006). Cereales y legumbres - Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de la proteína bruta - Método de Kjeldahl. Cuban National Bureau of Standards.
- Norma Portuguesa NP 518. (1986). Determinação do teor de cinza. Processo por incineração a 550°C. Cereais e Leguminosas.
- Norma Portuguesa NP 4168. (1991). Determinação do teor de matéria gorda total. Cereais e derivados. Instituto Português da Qualidade.
- Norma Portuguesa NP 516. (2000). Determinação do teor de água. Método prático de referência. Cereais e derivados. Instituto Português da Qualidade.
- Nunes, M.C., Raymundo. A., Empis, J., Sousa, I. (2002). Physical characterisation of commercial mayonnaises and salad dressings. *e-rheo.pt*, 2, 30-41.

- Nunes, M.C, Batista, P., Raymundo, A., Alves, M.M., Sousa, I. (2003). Vegetable proteins and milk puddings. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 31, 21-29.
- Nunes, M.C., Raymundo, A., Sousa, I. (2004). Meaningful viscosity values of product technical data - impact on product development. *Food Industry Updates Ingredients*, Pag 5-9.
- Nunes, M.C. (2005). Interações proteína/polissacárido em géis proteicos de origem vegetal. Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Nunes, M.C., Raymundo, A., Sousa, I. (2006). Rheological behaviour and microstructure of pea protein/κ-carrageenan/starch gels with different setting conditions. *Food Hydrocolloids*, 20, 106-113.
- Oakenfull, D., Pearce, J., & Burley, R.W. (1997). Protein gelation. Em: *Food Proteins and their Applications*, S. Damadoran, A. Paraf (eds.), Marcel Dekker Inc., New York, 111-142.
- Oreopoulou, V. e Tzia, C. (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants and colorants. Em: *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry*, Oreopoulou, V. e Tzia, C., Springer Science Business Media (eds), New York, 209-233.
- Parimala, K.R., e Sudha, M.L. (2012). Effect of hydrocolloids on the rheological, microscopic, mass transfer characteristics during frying and quality characteristics of puri. *Food Hydrocolloids*, 27, 191-200.
- Pereira, P., Rios de Souza, V., Teixeira, T., Queiroz, F., Borges, S., Carneiro, J. (2013). Rheological behavior of functional sugar-free guava preserves: Effect of the addition of salts. *Food Hydrocolloids*, 31, 404 – 412.
- Phillips, G. O., e Williams, P. A. (2009). *Handbook of hydrocolloids*, Second edition, CRC Press, New York, 5-18.
- Pires, C., Batista, I., Fradinho, P., Costa, S. (2009). Utilization of Alkaline-Recovered Proteins from Cape Hake By-products in the preparation of Frankfurter-Type Fish Sausages. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 18, 170-190.
- Pires, C., Costa, S., Batista, A.P., Nunes, M.C., Raymundo, A., Batista, I. (2012). Properties of protein powder prepared from Cape hake by-products. *Journal of Food Engineering*, 108, 268-275.
- Pomeranz, Y. (1991). *Functional Properties of Food Components*, Cap.5. Academic Press, 2nd Ed, London, 147-191.
- Prosky, L., Asp, N., Schweizer, T., Devries, S., Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in food and food products: interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 71, 1017–1023.

- Raymundo, A., Empis, J., & Sousa, I. (1998). White lupin protein isolate as a foaming agent. *Z Lebensm Unters Forsch*, 207, 91-96.
- Raymundo, A. (1999). Estudo e optimização da capacidade emulsionante de isolados proteicos de *L.albus*. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa.
- Regulamento (CE) n.º258/97 DECISÃO DA COMISSÃO de 13 de Outubro de 2009 que autoriza a colocação no mercado de sementes de *Salvia hispanica L.* como novo ingrediente alimentar ao abrigo do Regulamento (CE) n. o 258/97 do Parlamento Europeu e do Conselho *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Regulamento (CE) n.º258/97 DECISÃO DE EXECUÇÃO DA COMISSÃO, de 22 de janeiro de 2013 que autoriza o alargamento da utilização de sementes de *Salvia hispanica L.* como novo ingrediente alimentar ao abrigo do Regulamento (CE) n. o 258/97 do Parlamento Europeu e do Conselho *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Renkema, J.M.S. e Van Vliet, T. (2002). Heat-induced Gel Formation by Soy Proteins at neutral pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1569-1573.
- Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M.A. (2008). Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica L.*) seeds. *Food Chemistry*, 107, 656–663.
- Ross-Murphy, S.B. (1991). The estimation of junction zone size from gel time measurements. *Carbohydrate Polymers*, 14, 281-294.
- Russ, W., e Schnappinger, M. (2007). Waste Related to the food industry: a challenge in material loops. Em: *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry*, Oreopoulou, V. e Tzia, C., Springer Science Business Media (eds), New York, 1-15.
- Sahin, S. e Sumnu, S.G. (2006). Physical Properties of Foods, *Food science text series*, Springer Science Business Media (eds), Turkey, 162-169.
- Sanderson, G.R. (1981). Polysaccharides in Foods. *Food Technology*, 35 (7), 50-83.
- Schiff, W.J. (2009). Nutrition for Healthy Living McGraw. Hill International Edition, New York.
- Segura-Campos, M.R., Salazar-Veja, I.M., Chel-Guerrero, L.A., Betancur-Ancona, D.A. (2012). Biological potential of chia (*Salvia hispanica L.*) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, pag 1-9.
- Sherman, P. (1970). Industrial rheology. Academic Press, Inc., New York.
- Silva, L., Capitão, C., Veiga, I., Noéme, C. (2009), Inivação e Criação de Novos Negócios, Associação dos Jovens Agricultores de Portugal (ed), Lisboa, 4-21.

- Silva, M. e Silva, C. (2005). Caracterização parcial de amido de banana-nanica (*Musa sp. AAA Cavendish*), *Revista Ceres*, 52, 751-762.
- Sousa, I. (2001). Reologia dos produtos alimentares. Em: Reologia e suas aplicações industriais. Lisboa: Instituto Piaget - Ciência e Técnica.
- Sousa, I., Raymundo, A., Empis, J., Franco, J., Gallegos, C. (1998). Rheology and texture of lupin protein-stabilized emulsions: a statistical approach. *Les Cahiers de Rhéologie.*, 1, 112-116.
- Szczesniak, A.S., Brandt, M.A., & Friedman, H.H. (1963). Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. *Journal of Food Science*, 28, 397-403.
- Tabilo-Munizaga, G., Barbosa-Cánovas, G. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147-156.
- Taga, M.S., Miller, E.E., Pratt, D.E. (1984). Chia Seeds as a Source of Natural -Lipid Antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 61, nº 5.
- The Chia Co, (2013). <http://www.thechiaco.com.au/products/chia-seed>. Consultado em Janeiro 2013.
- Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 41-48.
- Tkachuk, R. (1969). Nitrogen to protein conversion factors for cereals and oilseed meals Nitrogen to protein conversion factors, Vol.46, 419-423.
- Tolstoguzov, V.B. (1992). The functional properties of food proteins. Em: Gums and Stabilisers for the Food Industry (Vol. 6), G.O. Phillips, P.A. Williams, D.J. Wedlock (eds.), IRL Press, Oxford, 241-266 .
- Tomé, A. (2012). Avaliação das propriedades gelificantes e emulsionantes de misturas de proteínas de pescado e de proteínas vegetais. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Torres, M.D., Fradinho, P., Raymundo, A., Sousa, I. (2013). Thermorheological and Textural Behaviour of Gluten-Free Gels Obtained from Chestnut and Rice Flours. *Food and Bioprocess Technology*.
- Van Vliet, T., Martin, A.H., Bos, M.A. (2002). Gelation and unterfacial behaviour of vegetable proteins. *Current opinion in Colloid & Interface Science*, 7, 462-468.
- Vázquez-Ovando, J.A., Rosado-Rubio, J.G., Chel-Guerrero, L.A., Betancur-Ancona, D.A. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica L.*). *LWT - Food Science and Technology*, 42, 168-173.

- Vázquez-Ovando, J.A., Rosado-Rubio, J.G., Chel-Guerrero, L.A., Betancur-Ancona, D.A. (2010). Procesamiento en seco de harina de chía (*Salvia hispanica* L.): caracterización química de fibra y proteína; Dry processing of chía (*Salvia hispanica* L.) flour: chemical characterization of fiber and protein. *CyTA - Journal of Food*, Vol. 8, No. 2, Pag. 117–127.
- Verheul, M., Roefs, S.P.F.M., Mellema, J. e Kruif, K.G. (1998). Power law behavior of structural properties of protein gels. *Langmuir*, 14, 2263-2268.
- Vries, J. (2004). Hydrocolloid gelling agents and their applications. Em: Gums and stabilisers for the Food Industry (Vol. 12), P.A. Williams, Glyn O. Phillips (eds.), Royal Society of Chemistry, U.K., 23-31.
- Walstra, P. (2003). Physical Chemistry of Foods, Food Science and Technology, Marcel Dekker, Inc, New York, 683-739.
- Wang, Q., e Cui, S. (2005). Understanding the Physical Properties of Food Polysaccharides. Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications Cap. 4.
- Winter, H.H. e Chambon, F. (1986). Analysis of linear viscoelasticity of a crosslinking polymer at the gel point. *Journal of Rheology*, 30, 367-382.
- Wong, D.W.S. (1989). Mechanism and Theory in Food Chemistry. Avi, van Nostrand Reinhold, New York, 48-62.
- Xu, S.Y., Stanley, D.W., Goff, H.D., Davidson, V.J. and Le Maguer, M. (1992). Hydrocolloid/Milk Gel Formation and Properties. *Journal of Food Science*, 57, 96–102.
- Zavareze, E., Rodrigues, A., Storck, C., Assis, L., Wally, A., Dias, A. (2009). Poder de inchamento e solubilidade de amido de arroz submetido ao tratamento térmico com baixa umidade. *Brazilian Journal of food technology*, pp.32-35.

Anexos

FOLHA DE PROVA (Produtos alimentares com farinha de chia)

Sobremesas com base gelificante

Recheio para bombons

	Não gosto	Gosto +/-	Gosto muito
Aspetto			
Sabor			
Textura			
Apreciação Global			

Pudim de banana

	Não gosto	Gosto +/-	Gosto muito
Aspetto			
Sabor			
Textura			
Apreciação Global			

Sobremesa de chocolate

	Não gosto	Gosto +/-	Gosto muito
Aspetto			
Sabor			
Textura			
Apreciação Global			

Produtos salgados com base gelificante

Molho para massa

	Não gosto	Gosto +/-	Gosto muito
Aspetto			
Sabor			
Textura			
Apreciação Global			

Esparregado de favas

	Não gosto	Gosto +/-	Gosto muito
Aspetto			
Sabor			
Textura			
Apreciação Global			

Comentário/Sugestões:

Obrigada!!!



A Chia – Propriedades e Potencial para Desenvolvimento de Produtos Funcionais

S. Ramos¹, P. Fradinho², P. Mata¹, A. Raymundo²

¹REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia- UNL, 2829-516 Caparica

² NIEAB, Instituto Piaget, Quinta da Arreínela de Cima, 2800-305 Almada

e-mail: susana.cf.amos@gmail.com

Introdução

A chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea oriunda da América Central que produz pequenas sementes brancas e pretas com **elevado valor nutricional**. Possui um alto teor de proteínas, fibras, ácidos gordos polinsaturados e antioxidantes, actuando positivamente na prevenção de **doenças cardiovasculares** e de alguns tipos de **cancro**, quando consumida regularmente [1].

Os benefícios da chia têm sido associados essencialmente à utilização do seu óleo encapsulado. Contudo, após o processo de extração de óleo obtém-se um subproduto muito rico nutricionalmente – farinha de chia, que pode ser valorizado no desenvolvimento de **alimentos funcionais**. Em termos de polissacáridos (p.ex. celulose, hemicelulose, mucilagem) esta farinha apresenta **propriedades gelificantes** muito interessantes [2], que potenciam a sua utilização na produção de diversos alimentos.

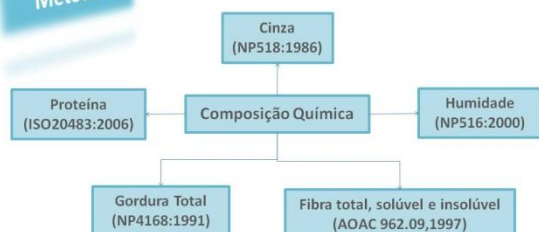
Objectivos

- Optimizar o processo de gelificação da farinha de chia completa através do comportamento reológico e de textura dos géis e avaliar o efeito da adição de açúcar, adoçantes e sal nas suas propriedades físicas.

- Desenvolver alimentos funcionais (salgados e doces) utilizando farinha de chia completa, tendo por base o seu poder gelificante.



Métodos



Análise de Perfil de Textura

Texturómetro TA.XT-plus (Stable Microsystems)
Sonda cilíndrica acrílica Ø=10 mm e penetração 10 mm
Amostras contidas em frascos (Ø=35 mm, h=50 mm)

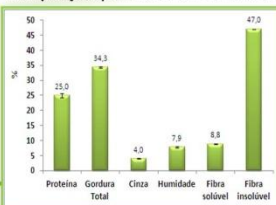


Comportamento Reológico dos Géis

Reómetro de tensão controlada (RS-300, Haake) acoplado a um UTC-peltier
Sistema de pratos paralelos serrados PP35 e gap de 1 mm

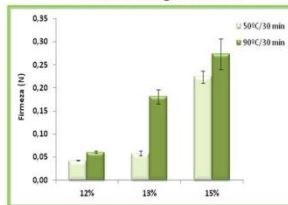
Resultados

Composição química da farinha de chia

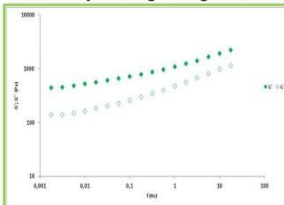


Elevado valor nutricional da farinha de chia:
25% proteínas, 34% gordura e 55% fibras.

Firmeza dos géis de chia



Caracterização reológica do gel 13% chia

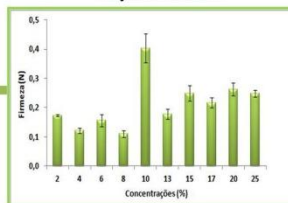


Condições óptimas de gelificação:
- **13%** de farinha de chia
- tratamento térmico **90°C/30 min**

$G' > G''$ – gel apresenta um **sistema estruturado**, com a componente elástica superior à componente viscosa

Gel apresenta firmeza maior para concentrações de **sacarose superiores a 10%**, sendo um factor a ter em conta na produção tecnológica de alimentos doces.

Adição de sacarose



Conclusões

Devido ao seu elevado valor nutricional e capacidade gelificante, a chia apresenta um grande potencial para utilização na produção de alimentos funcionais. Podem prever-se aplicações pois a adição de sacarose favorece a gelificação.



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



A CHIA – VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS EM APLICAÇÕES GASTRONÓMICAS

RAMOS S.¹, FRADINHO P.², MATA P.¹, RAYMUNDO A.²

¹REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia-UNL, 2829-516 Caparica, Portugal

² NIEAB, Instituto Piaget, Quinta da Arreinel de Cima, 2800-305 Almada, Portugal

E-mail: susana.cf.ramos@gmail.com

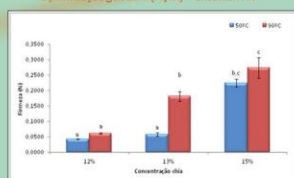
Enquadramento

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente tendência no mercado para o consumo de alimentos funcionais.

A chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea oriunda da América Central que dá origem a pequenas sementes com elevado valor nutricional: **25% proteínas**, **35% lípidos** (destacando-se os **ácidos gordos polinsaturados**), **30% fibras** (5,7% solúveis e 24,3% insolúveis) e **antioxidantes**. Apesar de não se produzir chia na Europa, o mercado nacional começou já a despertar para o consumo desta semente, atraído pelos seus inúmeros **benefícios para a saúde**, nomeadamente na prevenção de **doenças cardiovasculares** e de alguns tipos de **cancro**. Actualmente o consumo de óleo de chia tem vindo a assumir uma maior expressão na sociedade. Do processo de extracção deste óleo, obtém-se **farinha de chia parcialmente desengordurada**, que constitui um **subproduto muito rico nutricionalmente**, que pode ser valorizado no desenvolvimento de **alimentos funcionais**.

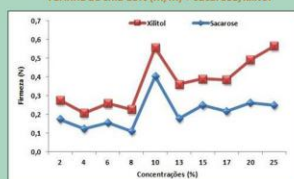
Resultados e Discussão

Optimização géis 13% (m/m) – ensaios TPA



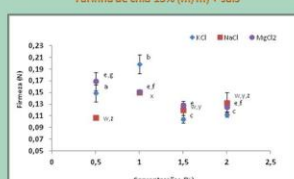
Géis com melhores resultados – 13% de farinha de chia

Farinha de chia 13% (m/m) + sacarose, xilitol



Géis de farinha de chia e xilitol – O poder adoçante é semelhante ao da sacarose. Para as mesmas concentrações, os géis com xilitol apresentam valores de firmeza mais elevados

Farinha de chia 13% (m/m) + sais



Géis com maior firmeza apresentam-se com concentrações baixas de sais – 1% KCl; 1% NaCl; 0,5% MgCl2

Objectivos

Valorização da farinha de chia completa, tirando partido da sua composição em polissacáridos;

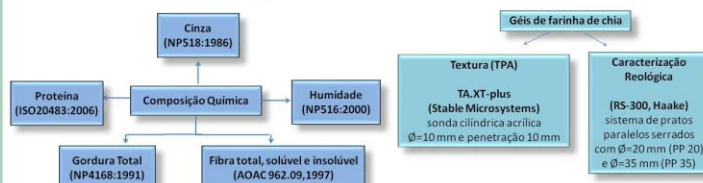
Optimização do processo de gelificação da farinha de chia - comportamento reológico e de textura;

Avaliação do efeito da **adição de açúcar, adoçantes e sais** nas suas propriedades físicas;

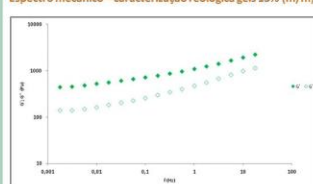
Desenvolvimento de alimentos funcionais - substituição de outros **aditivos com propriedades espessantes e/ou gelificantes**.

Procedimento Experimental

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA DE CHIA COMPLETA E RESPECTIVOS GÉIS

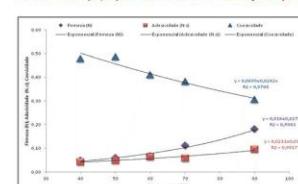


Espectro mecânico – caracterização reológica géis 13% (m/m)



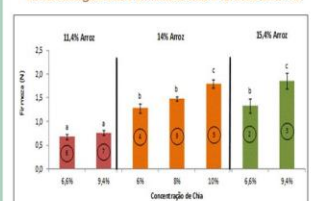
G' > G'', logo o gel apresenta um sistema estruturado, com a componente elástica superior à componente viscosa

Géis com 13% (m/m) de farinha de chia – condições óptimas



TPA – Variação T°C
Firmeza aumenta com >T°C
Adesividade aumenta com >T°C
Coesividade diminui com >T°C

Efeito sinérgico entre farinha de chia + farinha de arroz



Misturas de farinhas de arroz e chia permitem obter géis com a mesma firmeza, usando menos chia

Condições de optimização de géis de farinha de chia – 13% (m/m) de chia com binómio tempo/temperatura de 90°C/30 min

Efeito sinérgico da farinha de arroz com a de chia. Adoçantes e sais estudados não inviabilizam a obtenção de géis – Chia é uma alternativa aos gelificantes e espessantes comuns no desenvolvimento de produtos doces ou salgados pela indústria alimentar.

Agradecimentos: Rita Ferreira (estagiária em Engª Alimentar da IFViseu) por parte do trabalho laboratorial desenvolvido.

Rheological Characterization of Chia Flour Gels for Culinary Purpose

S. Ramos¹, P. Fradinho², P. Mata¹, A. Raymundo^{2,3}

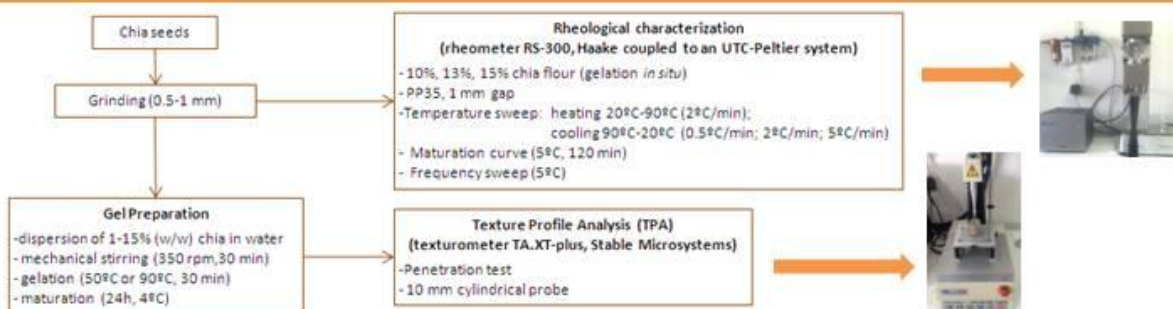
¹REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNL, 2829-516 Caparica; ²NIEAB, Instituto Piaget, Quinta da Arreina de Cima, 2800-305 Almada; ³CEER - Biosystems Engineering, Instituto Superior de Agronomia/Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal



INTRODUCTION

Chia (*Salvia hispanica* L.) is an herbaceous plant from tropical regions. The consumption of chia seeds, with high contents of dietary fibres, antioxidants and polyunsaturated fatty acids can enhance cardiovascular and digestive health, contributing to the prevention of obesity problems [1]. Due to its ability to swell when absorbing water, which occurs due to the presence of carbohydrates (cellulose, hemicellulose, lignin, pectin, among others), the addition of dietary fibre to a food matrix can affect its texture, playing a role as texturing and stabilizing agent. Soluble fibre contributes to the stabilization of the food structure (dispersions, emulsions, etc.) through gel formation or by thickening the continuous phase. Generally, insoluble fibre increases firmness and provides a highest fat absorption capacity [2]. The present work intends to access the gelling properties of chia flour (from grind chia seeds) with the purpose to study its potential for the development of functional food stuffs and culinary applications of the gel matrices.

MATERIALS AND METHODS



RESULTS AND DISCUSSION

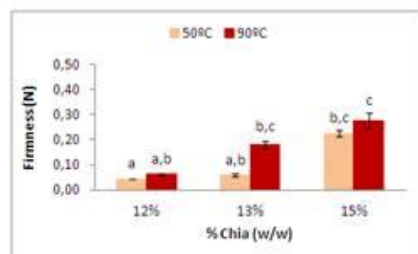


Fig 1. Firmness of chia flour gels prepared at 50°C and 90°C. Different superscript letters indicate significantly different values at $p < 0.05$.

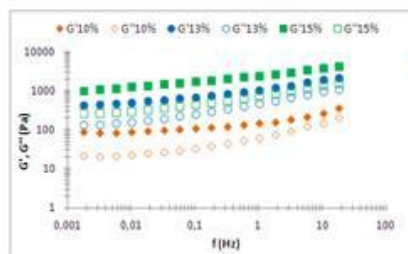


Fig 2. Mechanical spectra of chia flour gels with different concentrations (cooling rate of 2°C/min).

- Gels presented weak gel like structure; both moduli showed frequency dependence.
- Chia increasing concentration promotes the increase in the level of gel structure.

- Firmness of gels increases with chia content, for 50°C and 90°C.
- The temperature used for the gels preparation ($T=90^\circ\text{C}$) also increases the texture of chia gels.
- Gels with 13% (w/w) chia flour showed the most properly texture to the development of culinary applications, considering the commercial properties of gels as standard.

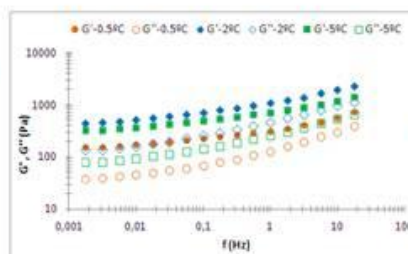


Fig 3. Frequency sweeps of 13% (w/w) chia flour gels at different cooling rates (0.5°C/min, 2°C/min and 5°C/min).

- The cooling rate affects the dynamic of the gel structure formation: lower cooling rates promoted a decrease of the linear viscoelastic functions (G' and G'').
- Optimum cooling rate to promote the target gel structured: 2°C/min.

REFERENCES

- [1] Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M.A., (2008). Food Chemistry, 107, 656-663.
- [2] Oreopoulou, V., Tzia, C., (2007). In utilization of by-products and treatment of waste in the food industry (Oreopoulou, V. and Russ, W., eds), Vol.B, pp.209-232 Springer, USA.



Chia flour can be applied in the production of a large variety of food stuffs (sweet, salty), making chia a custom made food ingredient.



Rheological characterization of Chia flour gels for culinary purpose

S. Ramos¹, P. Fradinho², P. Mata¹, A. Raymundo²

¹ REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNL, 2829-516 Caparica (Portugal)

² NIEAB. Instituto Piaget. Quinta da Arreínela de Cima, 2800-305 Almada (Portugal)

Introduction

Chia (*Salvia hispanica* L.) is an herbaceous plant from tropical regions. The consumption of chia seeds, with high contents of dietary fibres, antioxidants and polyunsaturated fatty acids can enhance cardiovascular and digestive health, contributing to the prevention of obesity problems [1;2].

Due to its ability to swell when absorbing water, which occurs due to the presence of carbohydrates (cellulose, hemicellulose, lignin, pectin, among others), the addition of dietary fibre to a food matrix can affect its texture, playing a role as texturing and stabilizing agent. Soluble fibre contributes to the stabilization of the food structure through gel formation or by thickening the continuous phase. Generally, insoluble fibre increases the firmness of food stuffs and provides a highest fat absorption capacity [3].

The functional and physicochemical properties of chia have already been studied and its potential to stabilize emulsions [4] and to produce edible films [5] was proved.

The present work intends to access the gelling properties of chia flour (from grind chia seeds) with the purpose to study its potential for the development of functional food stuffs and culinary applications of the gel matrixes.

Experimental

Chia seeds “Midzu” (from Peru, provided by Efeito Verde, Lda) were grinded and only the 0.5-1mm fraction was used for gel preparations. For texture measurements, chia flour gels with concentrations ranging from 1 to 15% (w/w) were prepared dispersing the flour in water, under mechanical stirring (Eurostar Digital, IKA-WERKE), 350 rpm for 30 min. The suspensions were poured into glass containers (35mm height, 32mm diameter) and heated at two different gelation temperatures (50°C or 90°C), during 30 min, in a water bath.

Texture analysis of chia flour gels was performed in a TA.XT-plus texturometer (Stable Microsystems), at 20°C, in a temperature-controlled room. Texture Profile Analysis tests (TPA) was performed, using a 10 mm cylindrical probe in a penetration mode, which allowed to determine the firmness, cohesiveness and adhesiveness of gels. The texture measurements were carried out 24h after preparation to achieve the gel maturation.

Small amplitude oscillatory shear measurements (SAOS) were performed to characterize gelation process of chia flour. The rheological characterization of 10%, 13% and 15% chia flour gels was performed using a controlled stress rheometer (Haake, RS-300) coupled to an UTC-Peltier system, with a serrated parallel plate (PP 35S) with 1 mm gap. The chia flour suspensions, after hydration during 30 min were transferred to the bottom plate to promote de gelation *in situ*.

The suspensions were heated from 20 to 90°C (heating rate 2°C/min), maintained at this temperature for 30 min, and then cooled down to 5 °C, at three different cooling rates (0.5, 2 and 5°C/min). The gel maturation was performed at this temperature, during 120 min to ensure the full gel maturation. Then the mechanical spectra were obtained, within the viscoelastic linear range.

Each formulation was tested at least in triplicate. Experimental data were analysed by means of one-way ANOVA or Kruskal-Wallis test. When the former analysis indicated differences among means, a Scheffé test or pairwise comparison was performed to differentiate means with 95% confidence ($p \leq 0.05$). All statistical treatments were done using SPSS Statistics (v.20, IBM SPSS Statistics, New York, USA).

Results and Discussion

The critical concentration for gelation of chia flour was previously tested. The gel formation was verified for concentrations above 10%. Figure 1 presents the main texture parameters used to characterize chia gels – firmness, adhesiveness and cohesiveness.

The gel firmness and adhesiveness increases with chia content, for both temperatures studied. The temperature used for the gels preparation also modified the texture, giving a slight rise to firmness and adhesiveness values for 90°C, although with no statistical significance ($p > 0.05$).

The presence of a high content of polysaccharides from chia seeds (hemicellulose, cellulose, lignin) influences the structure of the gel, leading to the formation of a more structured gel matrix, as described by Elleuch et al.[6].

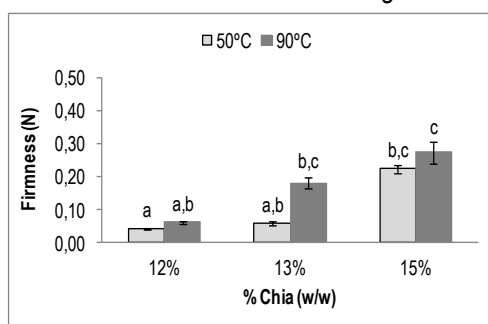


Figure 1a. Firmness of chia flour gels prepared at 50°C and 90°C. Different superscript letters indicate significantly different values at $p \leq 0.05$ level.

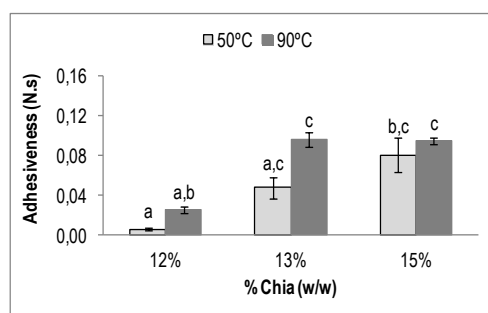


Figure 1b. Adhesiveness of chia flour gels prepared at 50°C and 90°C. Different superscript letters indicate significantly different values at $p \leq 0.05$ level.

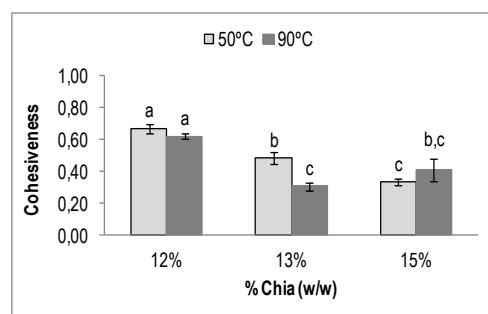


Figure 1c. Cohesiveness of chia flour gels (12%-15%) prepared at 50°C and 90°C. Different superscript letters indicate significantly different values at $p \leq 0.05$ level.

Regarding gel cohesiveness, it was observed a decrease of this attribute with chia content. No dependence of this parameter with temperature of gel preparation was observed.

Overall, from the TPA analysis, it was observed that gels with 13% (w/w) chia flour showed the most properly texture to the development of culinary applications, considering the commercial properties of gels as standard (comparison not shown). Nevertheless, the preparation of gels with lower content of chia take in advantage the global cost of the formulation, considering the high market price of chia seeds.

The mechanical spectrum of chia gels with 10, 13 and 15% (w/w) obtained after the heating/cooling cycle previously described is depicted in figure 2.

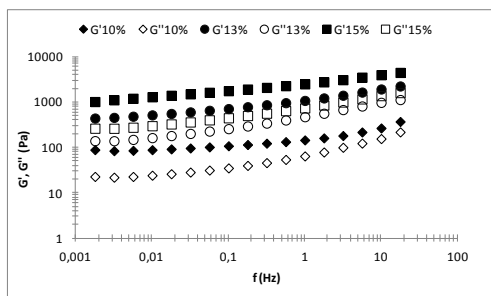


Figure 2. Mechanical spectra of chia flour gels with different concentrations (cooling rate of 2°C/min).

From the mechanical spectra, it is observed that all gels presented weak gel like structure, as G' is always higher than G'' but both moduli showed a frequency dependence, as it was observed by Moreira et al. [7] for this type of gels. A similar pattern was observed for the three concentrations, with a clear increase in the linear viscoelastic functions with chia content. This reflects an increase in the level of gel structure and is in agreement with the texture results.

The cooling rate affects the dynamic of formation the gel structure, as it was previously studied for several authors [8]. In order to optimize the cooling process of chia gels, three cooling rates were tested (Figure 3) for 13% (w/w) chia gels: 0.5°C/min, 2°C/min and 5°C/min. It is evident that the highest cooling rates (2 and 5 °C/min) promoted an increasing level of gel structure, expressed as higher values of the linear viscoelastic functions. In addition, a cooling rate of 2°C/min should be considered the optimum cooling rate to promote a structured gel system.

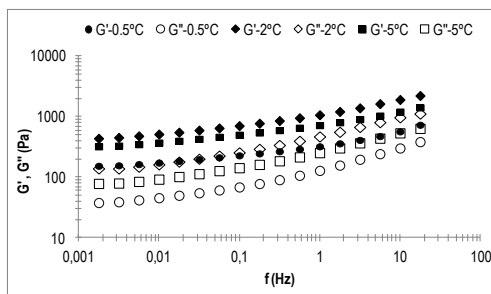


Figure 3. Frequency sweeps of chia flour gels (13%) at different cooling rates (-0.5°C/min, -2°C/min and -5°C/min).

Concluding remarks

From the texture and rheological measurements of chia flour gels, it is promising the application of this food ingredient in the preparation of several food stuffs, as an alternative to the usual thickening and gelling agents.

Chia is suitable for incorporation in different types of food matrixes, as sauces and soups, as well as desserts and drinks [9], resulting from its high fibre content (about 55%), mainly composed by insoluble dietary fibre, associated with high swelling power (20 g/g water at 25°C).

The chia flour concentration induces different degrees of gel structure that can be applied in the production of a large variety of food products (sweet, salty, etc), making chia a custom made food ingredient.

References

1. Taga, M.S., Miller, E.E., Pratt, D.E. (1984). *JAACS*, 61 (5), 928-931.
2. Reyes-Caudillo, E., Tecante A., Valdivia-López M.A. (2008). *Food Chemistry*, 107, 656–663.

3. Oreopoulou, V., Tzia, C. (2007). In Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry (Oreopoulou, V. and Russ, W., eds.), Vol.3, pp.209-232, Springer, USA.
4. Capitani, M.I., Spotorino, V., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2012). LWT - Food Science and Technology, 45, 94-102.
5. Muñoz, L.A., Aguilera, J.M., Rodríguez-Turiénzo, L., Cobos, A., Díaz, O. (2012). Journal of Food Engineering, 111, 511–518.
6. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Food Chemistry, 124, 411–421.
7. Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D. (2013). LWT -Food Science and Technology, 50, 160-166.
8. Nunes, M.C., Raymundo, A., Sousa, I. (2006). Food Hydrocolloids, 20, 106-113.
9. Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M. (1997). Trends in Food Science & Technology, 8, 41-48.